

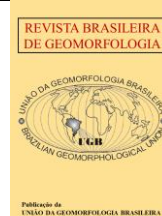


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, nº ESPECIAL (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2306>



Artigo de Pesquisa

Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís – MA

Recovery of gullies and degraded areas in Brazil and worldwide - case study of the Sacavém gully - São Luís – MA

Antonio José Teixeira Guerra ¹, José Fernando Rodrigues Bezerra ² e Maria do Carmo Oliveira Jorge ³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Geografia (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos-LAGESOLOS), Rio de Janeiro, Brasil. antoniotguerra@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2562-316X>

² Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Departamento de Geografia, São Luis, Brasil.

josebezerra@professor.uema.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6333-8768>

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Geografia (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos-LAGESOLOS), Rio de Janeiro, Brasil. orofila@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5375-2172>

Recebido: 31/10/2022; Aceito: 06/06/2023; Publicado: 03/07/2023

Resumo: Esse artigo aborda erosão por voçoroca, ao redor do mundo, chamando atenção das diversas formas de como recuperá-las. Em todas elas, técnicas de bioengenharia são apresentadas, assim como o sucesso e o baixo custo, quando aplicados. Além disso, esse artigo, destaca a necessidade de compreender como esse processo erosivo evolui nas encostas, as principais causas da formação das voçorocas e, conseqüentemente, o que fazer para mitigar esse processo geomorfológico. Finalmente, um exemplo de sucesso é apresentado, para São Luís, onde o monitoramento, usando técnicas tradicionais, e a recuperação da voçoroca, usando telas de buriti, que é uma palmeira local, provou que é possível, usando o conhecimento local, junto com o conhecimento acadêmico, recuperar uma voçoroca.

Palavras-chave: erosão por voçoroca, recuperação de terras, monitoramento.

Abstract: This paper addresses gully erosion around the world, outlining several ways of recuperating them. In all of them geoenengineering techniques are presented, and the success and low cost, when well applied. Furthermore, the article calls attention for the need to understand how this erosion feature evolves on the slopes, the main causes for gully formation and, consequently, what to do to mitigate this geomorphological process. Finally, one example of success is presented for São Luís, where monitoring, using traditional techniques, and land recuperation, using *buriti* mats, which is a local palm tree, has proven how it is possible, using the local knowledge, together with the academic expertise, to recuperate gully.

Keywords: gully erosion, land recuperation, monitoring.

1. Introdução

O presente artigo aborda o tema sobre Recuperação de voçorocas no Brasil e no mundo – apontando um estudo de caso da voçoroca do Sacavém – São Luís - MA, levando em consideração a experiência acumulada pelo

LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos), nos últimos 25 anos (GUERRA e JORGE, 2021). Para tal, serão abordados aspectos relacionados à origem das voçorocas, no sentido de mostrar e recomendar diferentes técnicas de recuperação, cuja literatura nacional e internacional é bem vasta.

Existem milhares de artigos, capítulos de livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado e relatórios técnicos nacionais e internacionais, relacionados à erosão dos solos e em específico, voçorocas, dos quais foram selecionados alguns para compor esse artigo. Trata-se de um assunto que vem sendo discutido há bastante tempo, tanto do ponto de vista agrônomo, como geomorfológico.

Como trata-se de um artigo, que aborda recuperação de voçorocas no Brasil e no mundo, é de grande importância destacar trabalhos, na literatura internacional, que possam ser utilizados, com algumas adaptações, à realidade brasileira.

A gênese das voçorocas, apesar de não ser tema central desse artigo, tem que ser compreendida, quando se trata de fazer sua recuperação. Apesar de existirem diversas explicações sobre a origem das voçorocas, entende-se que essa feição pode se formar a partir do escoamento superficial e/ou subsuperficial, podendo ou não atingir o lençol freático. Suas dimensões também variam bastante entre os diversos pesquisadores que trabalham nessa temática, mas a grande maioria aponta para largura e profundidade maiores que 0,5 m (BERGSMAN et al., 1996; GOUDIE; BOARDMAN, 2010; GUERRA et al., 2017; FROTA FILHO; VIEIRA, 2020; GUERRA et al., 2020; LOUREIRO et al., 2020; GUERRA; JORGE, 2021).

De acordo com Vanmaercke et al. (2016), a erosão por voçorocas tem significativos efeitos *onsite* e *offsite*. Dessa forma, diversos estudos têm sido desenvolvidos para quantificar o recuo das suas cabeceiras, em diferentes ambientes. Embora esses estudos tenham levado a descobertas, a importância geral dos processos controladores das voçorocas ainda permanece pouco conhecida, segundo os pesquisadores acima.

Dependendo da geologia e da geomorfologia local, as voçorocas podem se aprofundar com maior facilidade. Poesen et al. (2003), Frota Filho e Vieira (2020) e Loureiro et al. (2022) destacam bem essas características. Elas apresentam, na maioria das vezes, um recuo ativo das suas cabeceiras. Segundo Poesen et al. (2003), a cabeceira é uma parte natural, quase vertical, na estrutura de uma voçoroca. A partir do momento que o recuo da cabeceira da voçoroca é o principal processo de expansão dessa feição erosiva, vários estudos têm sido desenvolvidos, para monitorar as taxas de recuo, para cada voçoroca específica (POESEN et al., 2011; LOUREIRO, 2013; GARRITANO, 2020; LOUREIRO et al., 2022). Dessa forma, as voçorocas são consideradas importantes fonte de sedimentos, ao nível da bacia de drenagem, e quase sempre possuem impacto negativo, com o funcionamento hidrológico das bacias (POESEN et al., 2003; JORGE; GUERRA, 2013; VANMAERCKE et al., 2016; GUERRA et al., 2017; LOUREIRO et al., 2020).

De acordo com pesquisadores brasileiros e estrangeiros, a definição de sulcos, ravinas e voçorocas, varia bastante. Os estudos desenvolvidos pelo LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos) da UFRJ, apontam para as dimensões de largura e profundidade acima de 0,5 m, para voçorocas, bem como processos e sub-processos responsáveis pelo seu desenvolvimento (GUERRA et al., 2017; LOUREIRO et al., 2022). Enquanto outras definições levam em conta a presença ou não de água, no seu interior (IPT, 1990; CAMAPUM de CARVALHO et al., 2006).

A degradação das terras é uma ameaça global, que afeta negativamente o funcionamento dos ecossistemas e sua capacidade de proporcionar serviços ecossistêmicos (LAL, 2010), tais como a ciclagem de nutrientes, a retenção de água e a provisão para os habitats (BLUM, 1995). A erosão laminar dos solos causa grandes perdas de fertilidade. No entanto, a erosão por voçorocas, também leva à sua degradação, afetando o topo fértil dos solos, que tem papel fundamental na produtividade dos agro-ecossistemas. Além disso, devido ao grande volume de solo removido, causam danos não só nas áreas afetadas, mas também devido ao assoreamento de áreas contíguas, e localizadas à distância (EMBRAPA, 2002; CAMAPUM de CARVALHO et al., 2006; UDOFIA et al., 2011; GUERRA et al., 2018). O efeito *onsite* da erosão inclui a perda de matéria orgânica, que reduz a capacidade de retenção de água e de nutrientes (PIMENTEL, 2006).

De acordo com Nearing et al. (2004), as mudanças climáticas poderão levar ao aumento da erosão dos solos, em diversas partes do mundo, afetando os serviços ecossistêmicos e a qualidade de vida dos seres humanos. Apesar dos numerosos estudos de casos, ainda existe falta de conhecimento relativo às diferenças globais sobre os impactos das mudanças climáticas, e as incertezas envolvidas. Ainda segundo Nearing et al. (2004), a erosão dos solos, sob mudanças climáticas, está mais diretamente afetada pelas mudanças em precipitação extrema. As observações de longo prazo mostram tendência de aumento nas precipitações, globalmente falando, enquanto as

projeções de modelos climáticos sugerem aumento ainda maior, nas próximas décadas (SUN et al., 2007). As precipitações extremas afetam não apenas a erosão, através da remoção de partículas dos solos, pelo impacto das gotas de chuva, mas também pelo escoamento superficial (MORGAN e NEARING, 2010; PEREIRA et al., 2022). As mudanças climáticas causam aumento na saturação dos solos, provocando aumento no runoff, dando como origem a formação de ravinas, voçorocas e voçorocas efêmeras, que provocam maior produção de sedimentos (de VENTE e POESEN, 2005; EEKHOUT e de VENTE, 2022).

Embora os estudos relativos ao desenvolvimento das voçorocas, bem como da sua recuperação tenham proporcionado importantes descobertas, alguns resultados permanecem muito específicos, para as áreas onde eles são conduzidos, não sendo facilmente extrapolados. Segundo Vanmaercke et al. (2016), a compreensão dos processos controladores e da magnitude do recuo das voçorocas é fundamental para que se consiga fazer sua recuperação de forma adequada. Além disso, muitos desses dados correm o risco de serem perdidos, como foi demonstrado por Vines et al. (2014). Consequentemente, nesse tipo de estudo é fundamental conseguir monitorar as taxas de recuo das cabeceiras das voçorocas, explorar os fatores controladores, bem como identificar e discutir o alcance para pesquisas futuras, na compreensão das voçorocas, não só para entender o seu desenvolvimento, bem como para poder realizar recuperação que seja eficiente e duradoura.

Erosão por voçoroca é uma das formas de erosão acelerada, que requer grande atenção. Voçoroca possui diversas definições, mas uma delas é que é uma incisão linear, causada por intensos episódios de erosão, com seção transversal larga o suficiente, para se tornar uma feição permanente, que não pode ser removida por operações durante as atividades agrícolas cotidianas (BERGSMAN et al., 1996; TORRI; BORSELLI, 2003; VANMAERCKE et al., 2016; GUERRA et al., 2017; GUERRA et al., 2018; GARRITANO, 2020; LOUREIRO et al., 2020; LOUREIRO et al., 2022). Consequentemente, um dos piores efeitos *onsite*, das voçorocas, é a grande perda de solo, que impossibilita seu uso para fins agrícolas. Enquanto os efeitos *offsite* mais comuns são o aporte de sedimentos nos rios, bem como em lagos e reservatórios, causando assoreamento e tornando a qualidade da água proibitiva, em muitos casos, para consumo humano e animal. Daí dizer-se que os efeitos *onsite* e *offsite* da erosão por voçorocas são altamente danosos.

De acordo com Goudie e Boardman (2010), as áreas de mais intensa erosão estão associadas com fatores físicos e humanos. Boardman (2006) sugere que os seguintes países e regiões devem ser incluídos na lista de hotspots: Planalto do Loess na China, Etiópia, Suazilândia, Lesoto, Cordilheira dos Andes, Sudeste Asiático, Bacia Mediterrânea, Islândia, Madagascar, Himalaia, Sahel na África Ocidental, Caribe e América Central. É possível também incluir o Brasil, dentro desse grupo de hotspots, em termos de erosão dos solos.

O Brasil é caracterizado por uma grande diversidade de solos e de formas de relevo, diferentes climas, materiais parentais e cobertura vegetal. Essa diversidade é aumentada, em função das diferenças regionais em termos de uso e manejo do solo, que podem causar diversos processos erosivos, incluindo as voçorocas, que são causadoras da degradação dos solos (EMBRAPA, 2002; GUERRA et al., 2017; GUERRA et al., 2018).

Nesse sentido, esse artigo está dividido em duas partes: uma primeira, onde serão abordados uma série de experiências, ao redor do mundo, com relação à recuperação de voçorocas, levando-se em consideração diversas condições ambientais, bem como diferentes técnicas e materiais disponíveis. Essas diferentes abordagens são de utilidade para compreender como o conhecimento produzido em diferentes países pode contribuir na recuperação de voçorocas no Brasil. Uma segunda, onde será abordada a voçoroca do Sacavém, na cidade de São Luís, no Maranhão, onde além da sua recuperação, foi feito todo um monitoramento, relativo ao seu recuo, ao longo de vários anos, com patrocínio da União Europeia, no Projeto Borassus.

2. Experiências da recuperação de voçorocas e áreas degradadas, exemplos de alguns países

Apesar de mais de um século em pesquisas sobre erosão por voçoroca, sua caracterização e diferentes definições, nomenclatura e terminologia, tem causado alguma confusão em se entender as relações existentes entre a forma das voçorocas e os processos ao redor do mundo. Um aspecto central para a classificação de voçorocas é a necessidade da definição clara do que é essa feição erosiva. Com isso, é possível diferenciar uma voçoroca de outras feições geomorfológicas, relacionadas à incisão do solo (THWAITES et al., 2022). Essa definição está baseada amplamente na identificação do recuo das cabeceiras das voçorocas, e nos movimentos de massa que acontecem nas suas paredes, em conjunto com materiais da própria feição erosiva, que são transportados pela água do escoamento superficial concentrado (GUERRA et al., 2017; LOUREIRO et al., 2020; THWAITES et al., 2022).

Ainda segundo Thwaites et al. (2022), as voçorocas são geralmente divididas em “clássicas” ou “permanentes” e “efêmeras”. As efêmeras foram inicialmente caracterizadas por Foster (1986), para distinguir das permanentes, porque ocorrem em áreas de convergência de fluxo nas encostas, restritas a áreas de cultivo, onde aparecem quase todos os anos, em posição diferente das anteriores. São facilmente obliteradas por máquinas agrícolas, para que o campo seja cultivado novamente, mas ao longo do tempo, causam o rebaixamento do solo e, conseqüentemente, a perda de nutrientes. Nesse artigo, a recuperação de voçorocas se refere àquelas permanentes, que na literatura são caracterizadas apenas por voçorocas.

Nos últimos 50 anos, a disponibilidade de terras aráveis tem diminuído bastante, devido ao aumento da urbanização, e à degradação causada por vários problemas ambientais, colocando, em muitas circunstâncias, a agricultura como terras marginais. Na maioria dos casos, essas terras seriam aproveitadas apenas com a irrigação (EMBRAPA, 2002; LEAKE et al., 2022). A severidade das secas tem aumentado e a irrigação para a produção agrícola tem provocado o aumento da salinização. Dessa forma, não há muita escolha, mas fazer uso melhor das terras que já são exploradas, e aceitar o fato de que a agricultura no século XXI vai se tornar cada vez mais salina (LEAKE et al., 2022).

Segundo Udofia et al. (2011), as florestas têm, nas últimas décadas, passado por mudanças, devido ao crescimento da população e da pobreza. A demanda por produtos florestais tem continuado a crescer, enquanto as terras disponíveis para essa demanda têm diminuído, devido ao desmatamento para agricultura, expansão das cidades e desenvolvimento da infraestrutura. Os referidos autores destacam que na Nigéria, o processo de desmatamento inclui a desertificação no norte e o surgimento de voçorocas no sul do país.

Programas de reflorestamento tornam-se imperativos, para atender à crescente demanda por produtos de origem florestal. Um sistema de reflorestamento tem benefícios potenciais para a vida humana, embora o estabelecimento dessa fase possa conter muitos desafios, tais como: conflitos com comunidades locais, riscos ambientais, prejuízos na criação de animais e proteção ambiental inadequada (UDOFIA et al., 2011). Segundo os referidos autores, uma política nacional para o plantio de árvores, é recomendada, para tornar capaz a recuperação de diferentes ambientes. Há necessidade de fazer-se uma seleção de que espécies serão plantadas, com características de boa qualidade, tais como rápido crescimento, frutificação precoce etc. Existe também a necessidade do estabelecimento de ajuda financeira, com o propósito de prover apoio aos fazendeiros, que irão plantar as árvores. Finalmente, Udofia et al. (2011) propõem que os projetos de reflorestamento sejam desenvolvidos com a ajuda do conhecimento das pessoas locais, para reduzir os custos e, ao mesmo tempo, para proteger o reflorestamento da destruição humana.

Os sistemas agroflorestais podem ser uma saída, como apontam Dagar e Gupta (2016), que contribuem para a produção de alimentos e segurança nutricional e ambiental, tendo potencial para proporcionar emprego e renda adicional aos proprietários rurais. Cerca de 2 bilhões de hectares são afetados no mundo, por diversas formas de degradação dos solos, pela ação humana, sendo a erosão hídrica o maior deles (1,1 bilhão de hectares). Segundo Dagar e Gupta (2016), dos 120 milhões de hectares de solos degradados, 82 milhões devem-se à erosão causada pela água, 27 milhões pela degradação química e 12 milhões pela erosão eólica, sendo que cerca de 6,75 milhões de hectares são afetados pela salinização. Os sistemas agroflorestais são uma alternativa para o uso da terra, tanto no que diz respeito à recuperação desses ambientes degradados, como para a ocupação através da pecuária e agricultura.

Ainda segundo Dagar e Gupta (2016), novas perspectivas emergem a partir do crescimento da população, e as necessidades do aumento da produção de alimentos, para que cada porção de terra seja utilizada da melhor maneira possível, em consonância com os serviços ecossistêmicos. Isso significa que mesmo em solos degradados, incluindo a salinização, os solos podem ser recuperados para agricultura, ou para usos alternativos. Apesar da existência de tecnologia para recuperação dessas terras, o processo de recuperação é geralmente muito lento, por razões que são econômicas e sociais. Além disso, na maioria dos solos salinos em regiões áridas e semiáridas, a água subterrânea é salina. Dessa forma, o reflorestamento e os sistemas agroflorestais que envolvem árvores, gramíneas e lavouras, que suportem a baixa quantidade de água, e que usam água salina para irrigação, são consideradas ideais para recuperação de solos degradados. Dagar e Gupta (2016) apontam que experimentos em áreas agrícolas na Índia, comprovam que o estabelecimento de floresta e árvores frutíferas que são tolerantes ao sal, e que utilizam água salina subterrânea, proporcionam o uso de regiões áridas abandonadas, quando irrigadas em sulcos, para um período inicial de três anos para o estabelecimento das árvores.

De acordo com Tomar et al. (2021), o sistema agroflorestal é uma prática estabelecida há séculos, sendo a ação combinada de plantio de espécies perenes, em conjunto com lavouras comerciais e/ou criação de gado, simultaneamente, ou em sequência. Ainda, segundo os referidos autores, são sistemas de biodiversidade, associados com o combate à desertificação e mitigação de mudanças climáticas. A prática é uma forma possível de reduzir o desmatamento e a degradação das florestas, podendo aliviar a pressão sobre a degradação de áreas com reservas naturais, promovendo sua conservação.

Dentre muitas outras razões responsáveis pelas mudanças climáticas, tem sido a forma como fazer a gestão tradicional de florestas, provocando drásticas mudanças climáticas, que podem causar cataclismos futuros (TOMAR et al., 2021), se não for feito algo agora. Os autores chamam atenção do papel dos sistemas agroflorestais em mitigar a erosão dos solos, reabilitar áreas degradadas, melhorar a conservação da água, e o aumento da fertilidade dos solos, e reconhecem o papel dos sistemas agroflorestais em mitigar as repercussões das mudanças climáticas, além de melhorar a sustentabilidade dos recursos naturais, em temas relacionados à futura segurança alimentar da população.

Erosão por voçorocas é um processo de remoção de solo, devido ao acúmulo e escoamento de água, de expressão mundial, que afeta os campos agrícolas. A construção de barragens transversais à direção do fluxo de água e sedimentos, numa voçoroca, é uma forma de se procurar estabilizar essa feição erosiva (HELMAN e MUSSERY, 2020). Embora existam muitos estudos sobre o efeito dos controles erosivos na estabilização do solo, poucos examinam o efeito da reabilitação da cobertura vegetal. Helman e Mussery (2020) usaram informações dos satélites Landsat-7 (1999-2018) e Landsat-8 (2013-2018) para avaliarem os efeitos de barragens transversais, construídas em 2012, a três voçorocas, com estruturas distintas, em áreas secas, sobre a cobertura vegetal e a quantidade de água, e os resultados mostraram que o crescimento da vegetação foi favorável, após a construção dessas barragens. Houve também o aumento das taxas de infiltração, que favoreceu à expansão da cobertura vegetal. Os referidos autores chegaram à conclusão de que a avaliação feita por imagens de satélites pode ser usada para acessar as práticas de controle de feições erosivas, com a reabilitação feita através da vegetação, em voçorocas heterogêneas.

Dando sequência à recuperação de voçorocas, com plantio de espécies vegetais, Fonseca e Scotti (2018) apresentaram resultados sobre o preenchimento de voçorocas com resíduos de construção em áreas urbanas, na bacia do rio das Velhas, em Minas Gerais, com o objetivo de estabilizar essas feições erosivas. Nesse estudo Fonseca e Scotti (2018) destacam a importância de se conhecer bem a procedência desses resíduos, para que não haja contaminação dos solos, resultante de materiais oriundos de áreas urbanas, que podem estar contaminados. Foram selecionadas espécies do Cerrado, que conseguem crescer em áreas com resíduos de entulho de obras. O estudo foi feito sob condições das espécies vegetais, que conseguem se desenvolver sob condições dos materiais vindos de obras e substrato natural. As análises consistiram em determinar a altura e diâmetro das árvores, bem como o peso e a arquitetura das raízes, e o teor de água das plantas. Os resultados demonstraram que espécies vegetais, com rápido crescimento, reduziram o crescimento lateral das raízes, nas áreas com restos de obras, comprometendo seu crescimento em altura e produção de biomassa. No entanto, as espécies vegetais com crescimento lento se adaptaram melhor a essas condições, para a recuperação de voçorocas, porque apresentaram um padrão de crescimento lateral das raízes mais lento, o que não provocou danos às raízes. Isso aconteceu tanto em condições naturais de solo, como sobre entulho de obra. Dessa forma, Fonseca e Scotti (2018) demonstraram que essas espécies de crescimento lento são as mais recomendadas para a recuperação de voçorocas. Sendo que a *Copaifera langsdorffii* conseguiu um crescimento ainda melhor e maior produção de biomassa, em condições de voçorocas preenchidas por entulho de obra.

O papel das Organizações não Governamentais tem sido fundamental em diversas partes do mundo, para recuperar voçorocas e áreas degradadas, de um modo geral. Um exemplo que aconteceu no Quênia é bem retratado por Peterson et al. (2018), onde os autores detalham um estudo de caso, em encostas degradadas por voçorocas, que foram recuperadas, com a ajuda da ONG denominada NYADEC (*Nyando Development Community Center for Environmental Conservation*) – Centro Comunitário Nyando, para a Conservação Ambiental. Peterson et al. (2018) mostram como o trabalho desenvolvido por essa ONG conseguiu recuperar terras rurais, atingidas por voçorocas, com base em Fundações de Reabilitação de Voçorocas. Os referidos autores demonstram a importância da colaboração de órgãos internacionais, mas também com o esforço de ONGs nacionais, como é o caso da NYADEC, no Quênia.

As intervenções da NYADEC, para a recuperação das encostas atingidas por voçorocas seguiram quatro passos: 1. Controle da causa central da erosão, diminuindo a velocidade da água, ao plantar sisal, babosa e bambu, à montante das cabeceiras das voçorocas; 2. Diminuição das taxas de erosão, onde ela já existia, ao complementar com cobertura vegetal, ao longo e dentro das voçorocas; 3. Reabilitação das terras degradadas, ao retomar atividades, onde os solos foram recuperados, ao plantar novamente sisal, babosa e outras lavouras, que pudessem reter os solos; 4. Recuperação dos solos, nos quais o cultivo foi retomado, incorporando solo adicional e adubo, para melhorar a sua fertilidade, no sentido de aumentar a produção. O artigo destaca de forma clara, como o trabalho de uma ONG, baseado no conhecimento das características ambientais locais, levando em conta diferentes escalas de abordagem, nos planos verticais e horizontais, das voçorocas, são necessárias para melhorar as condições intrínsecas aos solos, com a sua consequente recuperação e a melhoria das condições de vida, daqueles que dependem daquelas terras (PETERSON et al., 2018).

Erosão por voçoroca indica extrema degradação dos solos. Na Etiópia, voçorocas com grande largura e profundidade, são características comuns, que afetam de forma significativa o uso agrícola da terra (YITBAREK et al., 2012). No entanto, muito pouco tem sido feito para atacar o problema. Onde a recuperação de voçorocas tem sido feita na Etiópia, são raramente estudadas, do ponto de vista de entender os custos e benefícios dessa recuperação. Dessa forma, os autores aqui citados, desenvolveram métodos para quantificar os custos de recuperação e dos benefícios, ao consideraram os componentes dos solos, em quatro voçorocas reabilitadas na Etiópia. Os dados foram obtidos por um levantamento físico apoiado em informações secundárias, obtidas em escritórios rurais. A quantificação foi feita, através da valoração dos custos envolvidos com a perda da produção, e os cálculos da reabilitação das voçorocas, de acordo com as despesas. Enquanto os benefícios da reabilitação foram obtidos através da valoração estimada dos nutrientes depositados, usando os preços dos fertilizantes.

O estudo na Etiópia demonstrou que os valores do custo-benefício mostram que o investimento na reabilitação das voçorocas pode ser economicamente viável, em alguns casos. Yitbarek et al. (2012) concluíram que os proprietários rurais, envolvidos na reabilitação das voçorocas, deveriam continuar investindo em técnicas apropriadas, para sua recuperação e manejo, para garantir benefícios futuros, a partir das voçorocas recuperadas, e para o uso das fazendas situadas no entorno.

Com relação a degradação dos solos pela água, tem-se um exemplo no sopé do Himalaia (KAUSHAL et al., 2021), com o uso do bambu, que devido ao rápido crescimento, aliado a uma densa rede de raízes e produção de serrapilheira, tem grande potencial para controlar a erosão. A plantação de bambu, usando água da conservação do solo in situ, pode ser uma medida efetiva estratégica para a reabilitação de terras degradadas.

O estudo desenvolvido por Kaushal et al. (2021) avalia a eficácia de diferentes tipos de trincheiras retangulares, semicirculares e em forma de V, para reter a água da chuva, no aumento da biomassa de duas espécies importantes de bambu, e seus efeitos combinados na conservação da água e do solo. Nos diferentes tipos de trincheiras, para reter a água, o escoamento superficial e a perda de solo foram bastante reduzidos, com o crescimento da vegetação. A partir do quinto ano de plantio, não foi mais observado escoamento superficial e perda de solo, indicando a eficiência da captação de água in situ, com o bambu controlando a erosão. Kaushal et al. (2021) recomendaram, dessa forma, a abertura de trincheiras, em combinação do plantio de bambu, como medidas eficientes para a reabilitação de terras degradadas.

Áreas montanhosas, com encostas sem cobertura vegetal, geralmente representam formas perigosas para degradação dos solos, que precisam ser recuperados (MICHELE; ANDREATTA, 2021). No entanto, a revegetação é normalmente feita com espécies exóticas, impactando negativamente a paisagem natural. Estudos de detalhe, em especial em áreas com poucos levantamentos, em termos dos efeitos negativos da revegetação a longo prazo, são essenciais para a melhoria das práticas de reabilitação.

Michele e Andreatta (2021) discutem quatro deslizamentos e áreas abandonadas de mineração, cercadas por vegetação natural, ou seminatural, bem preservada, que foram vegetadas entre 1988 e 2002, com espécies exóticas, herbáceas e arbóreas. Os referidos autores estudaram 111 áreas, com espécies introduzidas e outras importantes coberturas do solo. Características climáticas e indicadores ecológicos foram obtidos através de bancos de dados disponíveis. Os padrões temporais e o espectro ecológico da cobertura vegetal foram analisados, e correlacionados com as características dos locais analisados. Na primeira década, as plantas introduzidas foram inicialmente abundantes, mas decresceram rapidamente. A longo prazo, plantas mais tolerantes ao estresse, produziram cobertura vegetal considerável, especialmente em solos com textura fina.

Segundo Michele e Andreatta (2021), as espécies nativas foram estabelecidas lentamente, mas devido à maior resistência ao estresse, elas dominaram a longo prazo. Em áreas com predomínio de cobertura herbácea, os fatores ligados aos solos, tais como teor de cascalho, foram mais relacionados à cobertura vegetal. Em áreas com cobertura predominante de árvores, a alta cobertura foi dependente de fatores microclimáticos. Michele e Andreatta (2021) concluíram que as espécies arbóreas deveriam ser sempre utilizadas, mas com espécies nativas, porque são mais persistentes e resistem melhor ao ambiente recuperado. Se espécies herbáceas nativas não estiverem disponíveis, a introdução de exóticas deveria ser evitada, em áreas não expostas à erosão. Enquanto espécies exóticas, que são pouco tolerantes ao estresse, deveriam ser usadas em áreas de forte declividade, na medida que elas criam uma cobertura rápida ao solo, mas que duram pouco tempo, o que é compensado pelo estabelecimento, no longo prazo, de espécies nativas.

Andrade et al. (2022) apresentam um breve histórico da bioengenharia dos solos, onde incluem aspectos relacionados ao diagnóstico de áreas degradadas, à seleção de espécies vegetais e aos elementos estruturais que são utilizados no controle da erosão. Os referidos autores apresentam também, de forma ilustrativa, três estudos de casos, que nos ajudam a compreender o papel das técnicas de bioengenharia, na recuperação de áreas degradadas por voçorocas, taludes erodidos e encostas que sofreram movimentos de massa.

São inúmeros os estudos feitos por pesquisadores brasileiros, em relação ao surgimento e evolução de voçorocas, bem como a sua recuperação. Nesse sentido, Jorge e Guerra (2013); Santos e Westphalen (2014); Pascoto et al. (2018); Guerra e Jorge (2021), apontam uma série de conceitos e exemplos. A propósito disso, Santos e Westphalen (2014) abordam o problema da erosão dos solos no Noroeste do Paraná, que “está relacionada às características naturais da paisagem, morfologia dos solos e índices pluviométricos elevados” (pág. 298).

No presente artigo, apresentamos um estudo de caso, onde foram utilizadas técnicas de bioengenharia, numa voçoroca urbana, em São Luís, utilizando geotêxteis, feitos com fibra de buriti, que é abundante no Maranhão. As referências nacionais e internacionais, aqui apresentadas, têm papel fundamental na recuperação da voçoroca do Sacavém.

3. Estudo de caso da voçoroca do Sacavém

O município de São Luís localiza-se na Porção Norte do Estado do Maranhão (Figura 1), entre as coordenadas 2° 19' 09" – 2° 51' 00" S e 44° 01' 16" – 44° 19' 37" W, mas especificamente na Ilha do Maranhão, juntamente com os municípios da Raposa, Paço do Lumiar e São José de Ribamar. Com relação ao processo de ocupação urbana de São Luís, tem-se percebido, que desde 1612 até os dias atuais, esse processo vem passando, por uma significativa evolução, apresentando fases diferenciadas de crescimento urbano, influenciada por fatos relevantes da história da cidade.

Como fase importante do crescimento urbano, cabe ressaltar o surto industrial que se deu em São Luís, a partir da segunda metade do século XVIII, época em que a maioria das fábricas existentes no Maranhão localizava-se na cidade. Outro período de grande crescimento populacional ocorreu nas décadas de 50 e 60 do século XX, devido à migração de famílias vindas do Sertão Nordestino, expulsas da grande seca de 50 (DINIZ, 1993). Entre as décadas de 70 a 90 o contingente populacional de São Luís tem aumentado extraordinariamente em face dos projetos industriais como a ALUMAR (Alumínios Maranhão) e Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), atual VALE.

Para Diniz (1993), o crescimento demográfico de São Luís, foi um dos fatores, que atrelados aos movimentos migratórios, mais contribuiu para a expansão urbana da cidade.

No sistema urbano maranhense, a cidade de São Luís, capital do Estado, situa-se no ápice da hierarquia, por possuir maior número e diversidade de funções e por sua população urbana ser superior às demais. Convém ressaltar que, embora São Luís tenha limites político-administrativos com os municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, em termos econômicos esses são totalmente dependentes da capital. Portanto, uma análise da aglomeração urbana de São Luís requer uma abordagem extensiva a toda à ilha, já que as áreas ainda não totalmente integradas no espaço construído já se constituem em reservas de expansão, tanto do crescimento habitacional como aquele destinado a fins industriais, e demais atividades a serem induzidas (FERREIRA, 1989).

São Luís possui uma área de 831 km² e foram identificadas diversas feições erosivas, dentro e fora da cidade, sendo as principais relacionadas às voçorocas (BEZERRA et al., 2006; GUERRA et al., 2009; GUERRA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2010; GUERRA et al., 2011; BEZERRA et al., 2011; BEZERRA, 2011; BHATTACHARYYA et al., 2011; KERTÉSZ et al., 2011; FULLEN et al., 2011; SMETS et al., 2011; MORAIS et al., 2014; LISBOA et al., 2014; GUERRA et al., 2015; GUERRA et al., 2017; GUERRA et al., 2018; GUERRA et al., 2020; MORAIS et al., 2022).

Algumas dessas feições erosivas causam sérios riscos à população, que vive nas suas proximidades, como é o caso da voçoroca monitorada e recuperada, no Bairro do Sacavém, localizada na bacia hidrográfica do rio Bacanga. A área de estudo possui condições que levam ao surgimento e desenvolvimento de voçorocas, como: chuvas abundantes durante o ano, com totais acima de 2.000 mm, concentração do período chuvoso, entre os meses de janeiro e março, podendo chegar a totais diários acima de 180 mm; solos dos Grupos Itapecuru e Barreiras, resultantes do intemperismo de arenitos, e totais elevados de silte a areia fina, o que os torna com elevada erodibilidade (BEZERRA, 2011; GUERRA et al., 2018). Essas condições físicas são acentuadas pelo desmatamento e ocupação desordenada, sem rede de esgoto, galerias pluviais, bem como em alguns bairros, ruas sem calçamento.

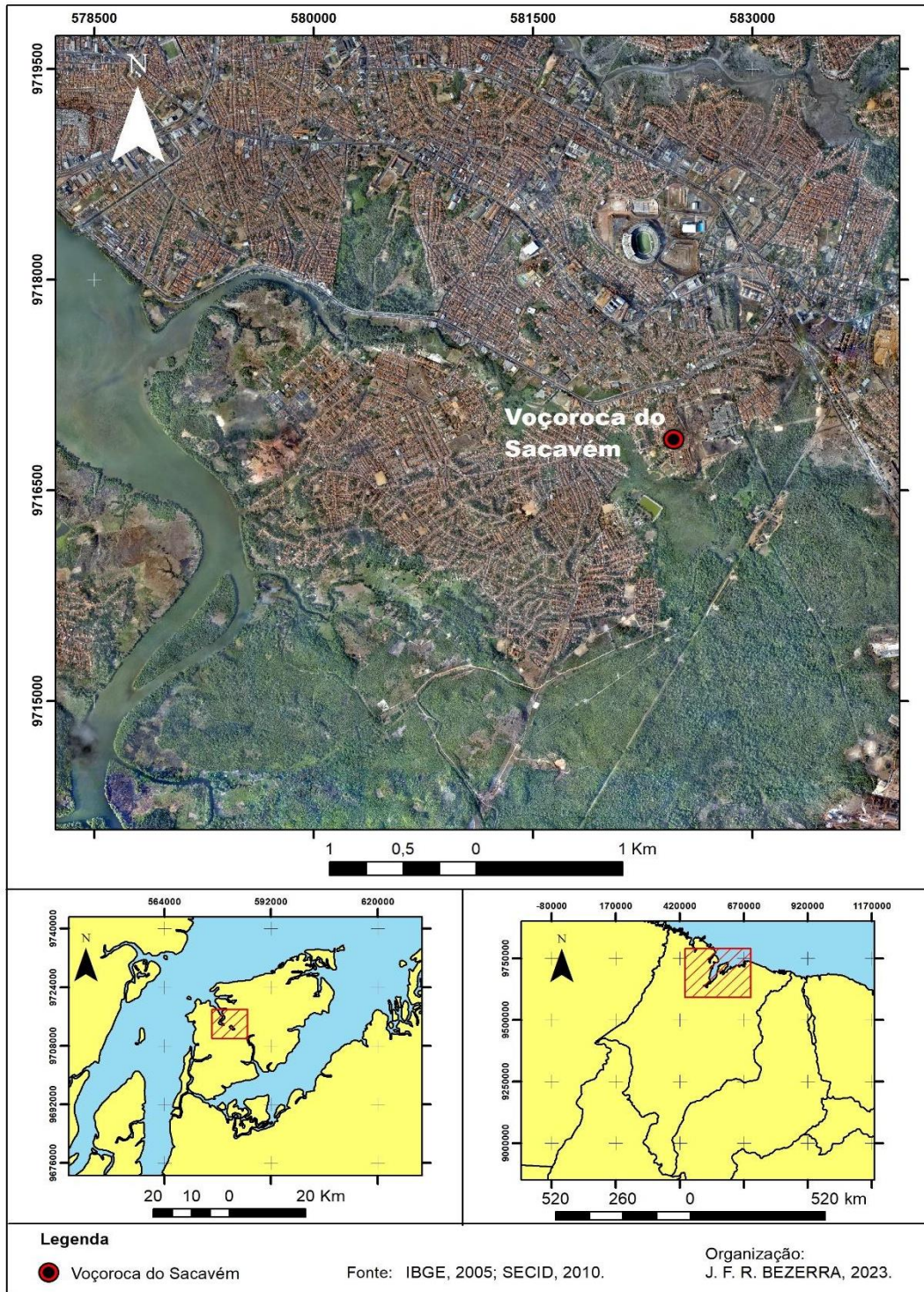


Figura 1. Mapa de localização da voçoroca do Sacavém.

A voçoroca em estudo está localizada na parte centro ocidental do bairro do Sacavém (Figura 1). A área apresenta afloramentos do Grupo Barreiras, com encostas íngremes e pouca cobertura vegetal. O principal uso da terra é o urbano, ao redor da voçoroca, com exploração de areia, para construção civil, na parte de dentro da feição erosiva (Figura 2). O monitoramento dessa voçoroca mostra que o recuo da cabeceira é bastante elevado, colocando em risco os moradores situados na área (BEZERRA, 2011; GUERRA et al., 2018).

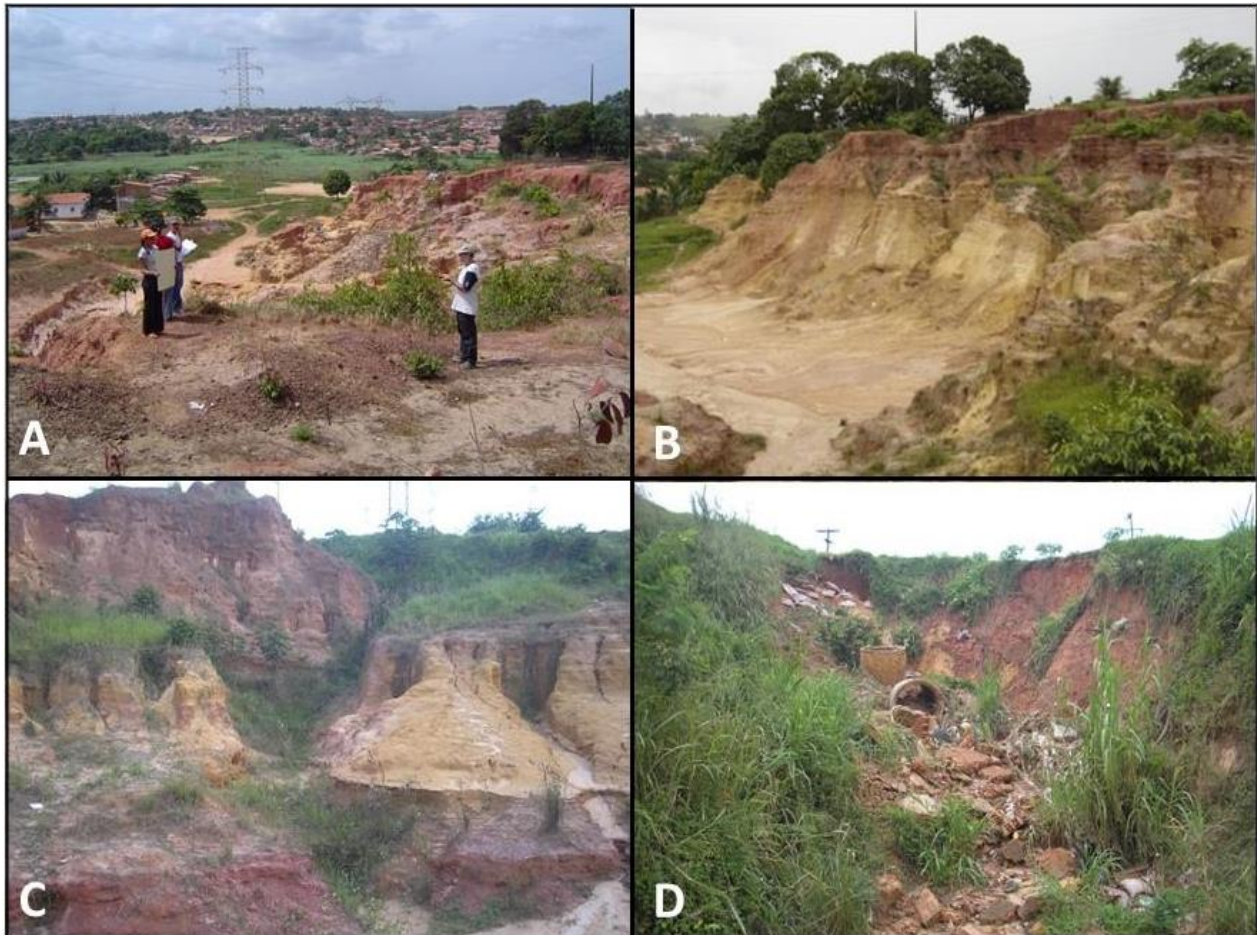


Figura 2. Voçoroca do Sacavém, área urbana do Município de São Luís: A. Equipe de monitoramento da voçoroca do Sacavém; B. Talude da voçoroca; C. Diferentes níveis altimétricos no talude; e D. Drenagem comprometida.

Na área objeto de estudo, assim como em toda a Ilha do Maranhão, as estruturas geológicas superficiais são constituídas por rochas do grupo Itapecuru, originárias do Cretáceo, sobrepostas, em algumas áreas, por camadas do Grupo Barreiras que datam do Terciário, e por sedimentos quaternários da Formação Açuí. As rochas de idade Terciária estão dispostas, principalmente nos tabuleiros e nas vertentes, enquanto os sedimentos quaternários estão na zona litorânea e nas desembocaduras dos rios (FEITOSA, 1989; 1996; 2006).

De acordo com Maranhão (1998), o Grupo Barreiras é a Unidade Litoestratigráfica de maior distribuição superficial, predominando em toda área, constituindo-se essencialmente de arenitos.

A litologia da área é essencialmente sedimentar e em geral estratificada, inconsolidada, bastante porosa, permeável e de baixa resistência à erosão, sendo a superfície representada por arenitos muito friáveis. Essas características associadas a outros fatores geoambientais, tais como o clima e a hidrografia, que atuam com muita intensidade, conferem grande vulnerabilidade da área aos processos erosivos (MARANHÃO, 1998).

Com isso, torna-se evidente a contribuição de agentes morfogenéticos de origem climática, oceanográfica e antrópica, no trabalho de redução da amplitude altimétrica das unidades topomorfológicas do município e da área do voçorocamento, destacando-se o trabalho da drenagem e o do homem.

A geomorfologia na área de estudo caracteriza-se por formas com pequena amplitude altimétrica, devido à ação de diversos agentes morfogenéticos que atuam com grande intensidade, uma vez que as características físicas

são favoráveis às constantes modificações na paisagem (Figura 2). Entre os agentes morfogenéticos, destacam-se os climáticos, os oceanográficos e as ações antrópicas, que desenvolvem processos geomórficos de natureza escultural, sobre uma litologia predominantemente sedimentar estratificada e geralmente pouco consolidada (MARANHÃO, 1998).

Sobre a geomorfologia da Ilha do Maranhão, durante sua evolução ocorreram diferentes fases de desenvolvimento, sendo que as transformações mais significativas resultaram numa paisagem pontuada de formas residuais, que encerram caracteres de antigos ambientes (FEITOSA, 1989). Predominam formas tabulares e subtabulares, intercaladas por colinas dissecadas sob uma litologia sedimentar.

Na área-objeto do estudo ocorre intensa ação hidrológica na elaboração do relevo. Evidencia-se a atividade dos rios no modelado das áreas emersas, através da produção e da distribuição dos sedimentos ao longo dos cursos fluviais. Por outro lado, a hidrodinâmica marinha contribui com a produção de detritos, pelo solapamento de barreiras e cordões arenosos, e sua distribuição ao longo da costa, junto com os sedimentos de origem fluvial (MARANHÃO, 1998).

Considerando as condições apresentadas pela litologia, os solos da área de estudo são, em geral, muito suscetíveis aos processos erosivos. Estas características, nas áreas de maior declive e condições favoráveis à ocorrência desses processos, notadamente, quando submetidas à intervenção antrópica, desvinculada de planejamento, que considere os riscos impostos ao equilíbrio da paisagem. Na área da voçoroca do Sacavém há a ocorrência do Neossolo Regolítico que são caracterizados por serem solos pouco desenvolvidos a profundos, ácidos, permeáveis, muito bem drenados e com fertilidade natural baixa.

Os resultados das análises granulométricas no perfil de 4,5 m no talude da voçoroca do Sacavém corroboram a tipologia do Neossolo Regolítico, com a classificação textural predominante de Areia Franca, com porcentual de areia variando entre 79,05% e 88,8% (Quadro 1).

Outros parâmetros analisados como a densidade do solo (g/cm^3), densidade de partículas (g/cm^3), porosidade (%), teor de matéria orgânica (%) e pH também indicaram solos susceptíveis à erosão na área de estudo. A densidade do solo foi considerada alta, variando de $1,61 \text{ g/cm}^3$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$ (POESEN et al., 2003; PIMENTEL, 2006). A densidade de partículas variou de $2,5 \text{ g/cm}^3$ a $2,94 \text{ g/cm}^3$, enquanto a porosidade máxima foi de 45,23%. O teor de matéria orgânica foi baixo, chegando a 0,34% e o pH obtido foi de 4,3, classificado como fortemente ácido (Quadro 1).

A análise morfológica também demonstrou solos altamente susceptíveis à erosão dos solos na voçoroca do Sacavém. A cor dos solos foi classificada como amarelo avermelhado, segundo a Carta de Munsell. A textura dos sedimentos foi considerada como média. A forma da estrutura dos agregados é angular, enquanto o tamanho é médio. Em relação à consistência das amostras coletadas na voçoroca em estudo foram atribuídas as seguintes classificações: macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e pegajosa (Quadro 1).

Quadro 1. Resultado das análises físico-químicas dos solos da voçoroca do Sacavém. Fonte: Serra, (2020); Serra e Bezerra, (2022).

Atributos Físico-químico					
Granulometria	Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe
	0,5 m	79,05	18,56	2,39	Areia Franca
	1 m	88,8	8,79	2,41	Areia Franca
	1,5 m	87,6	10,02	2,38	Areia Franca
	2 m	86,8	10,79	2,41	Areia Franca
	2,5 m	85,3	12,29	2,41	Areia Franca
	3 m	85,45	12,14	2,41	Areia Franca
	3,5 m	88,75	8,73	2,52	Areia
	4 m	86,3	11,29	2,41	Areia
	4,5 m	85,6	8,2	6,2	Areia

Parâmetros	A	B	C	D	E
Densidade do solo (g/cm ³)	1,8	1,61	1,78	1,66	1,62
Densidade de partículas (g/cm ³)	2,5	2,94	2,66	2,66	2,77
Porosidade (%)	28%	45,23%	33,08%	37,59%	41,51%
Matéria orgânica (%)	0,34				
pH	4,3 (Fortemente ácido)				
Análise Morfológica					
Cores do solo		Amarelo avermelhado			
Textura		Média			
Estrutura	Forma	Angulares			
	Tamanho	Média			
Consistência do solo	Seco	Macia			
	Úmido	Muito friável			
	Molhado	Ligeiramente Plástica			
	Pegajosidade	Ligeiramente Pegajosa e pegajosa			

O município de São Luís, por se encontrar em uma região de baixa latitude apresenta elevadas temperaturas, devido à incidência de raios solares, o que implica na intensificação dos processos morfogenéticos. De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da área de estudo corresponde ao tipo Aw, quente e úmido, com chuvas de verão e outono que apresenta dois períodos distintos: um chuvoso que se estende de janeiro a junho, com alto índice pluviométrico e outro seco, entre julho e dezembro (MARANHÃO, 1998).

O sistema que mais interfere na dinâmica atmosférica da área é representado pelos ventos alísios de nordeste, originários do anticiclone dos Açores (LOPES, 1970). Já os ventos alísios de sudeste exercem pequena influência sobre o clima dessa região, apesar de sua ação determinante no clima do Nordeste Oriental.

Segundo Fonseca (2001), o clima predominante da Ilha do Maranhão é o tropical úmido, com médias anuais de temperaturas em torno de 26°C, atingindo níveis superiores nos meses de outubro e dezembro e inferiores em abril e maio.

A precipitação ultrapassa os 2.000 mm/ano, tendo cerca de 80% do período chuvoso distribuído entre os meses de janeiro a junho, com maior concentração em março e abril e níveis mais baixos nos meses de setembro e outubro (FEITOSA, 1989). Durante o período chuvoso, os processos erosivos por voçorocamento tendem a evoluir, principalmente, suas cabeceiras que sofrem com o processo de desmatamento, decorrente do processo de ocupação, sem planejamento.

A análise dos dados de monitoramento das cabeceiras da voçoroca do Sacavém revelou pouca evolução durante quatro anos de monitoramento, porém a remoção de suas bases é causada pela extração ilegal, principalmente de areia fina, utilizada para a construção civil. Os maiores recuos observados foram nas estacas 10 e 13 (Quadro 2), que ocorreram devido aos pequenos movimentos de massa, principalmente nas cabeceiras com alto grau de compactação e incipiente cobertura vegetal. A evolução desses processos pode colocar em risco as torres de transmissão de energia da ELETRONORTE e as residências circunvizinhas.

Quadro 2. Monitoramento do avanço das cabeceiras da voçoroca do Sacavém com a técnica do estaqueamento.

LOCALIZAÇÃO		MEDIDAS						
Estacas	Azimute	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
		26.12.00	05.04.01	20.07.01	18.03.02	16.09.02	04.10.03	20.03.04
Estaca 10	188º	13,50	13,40	13,17	13,10	13,05	13,03	13,03
	192º	13,40	13,40	12,58	11,56	11,50	11,50	11,49
	203º	11,03	11,00	9,55	9,54	9,54	9,52	9,52
Estaca 11	191º	14,85	14,14	13,58	13,56	13,40	13,35	13,32
	196º	13,93	13,65	13,33	13,16	13,16	13,14	13,10
	205º	14,35	13,45	13,29	13,25	13,00	13,00	12,58
Estaca 12	195º	17,15	16,78	16,60	16,60	16,60	16,57	16,57
	208º	19,30	18,00	17,95	17,20	17,20	17,18	17,15
	224º	19,80	19,37	19,28	19,13	18,60	18,55	18,55
Estaca 13	200º	19,35	18,80	18,70	17,90	17,90	17,87	17,87
	240º	7,63	7,22	7,10	7,03	7,00	6,56	5,54
	250º	13,40	12,80	12,50	12,45	9,50	9,30	9,28

3.1 Recuperação da voçoroca do Sacavém

O processo de recuperação da voçoroca do Sacavém ocorreu em duas etapas: 1. Monitoramento de uma estação experimental baseada na bioengenharia de solos; e 2. Recuperação da área degradada com implantação dos geotêxteis do buriti nos taludes da voçoroca. As duas etapas estão interligadas e foram essenciais para demonstrar a eficiência da técnica no controle da erosão laminar, contenção dos sedimentos e insumos (adubo de palmeira e sementes), e como agente facilitador no desenvolvimento da cobertura vegetal, pois a princípio, testou-se a técnica, e depois esta foi aplicada na feição erosiva do Sacavém.

A estação experimental (Figura 3) com técnicas de bioengenharia de solos foi implantada na bacia hidrográfica do rio Bacanga, próximo ao bairro do Sacavém, constituída por duas parcelas, com 20º de declividade, e replicadas para cada tratamento: solo exposto (SEa, SEb) e biomanta de buriti (GEa, GEb). As calhas e galões foram estão dispostas na base da parcela, com a finalidade de mensurar o escoamento superficial e a perda de sedimentos. O monitoramento foi realizado entre meses de fevereiro a junho de 2009, durante o período chuvoso da região. Os parâmetros analisados no experimento foram: índice de cobertura vegetal, pinos de erosão, potencial matricial e escoamento superficial e taxa de erosão.

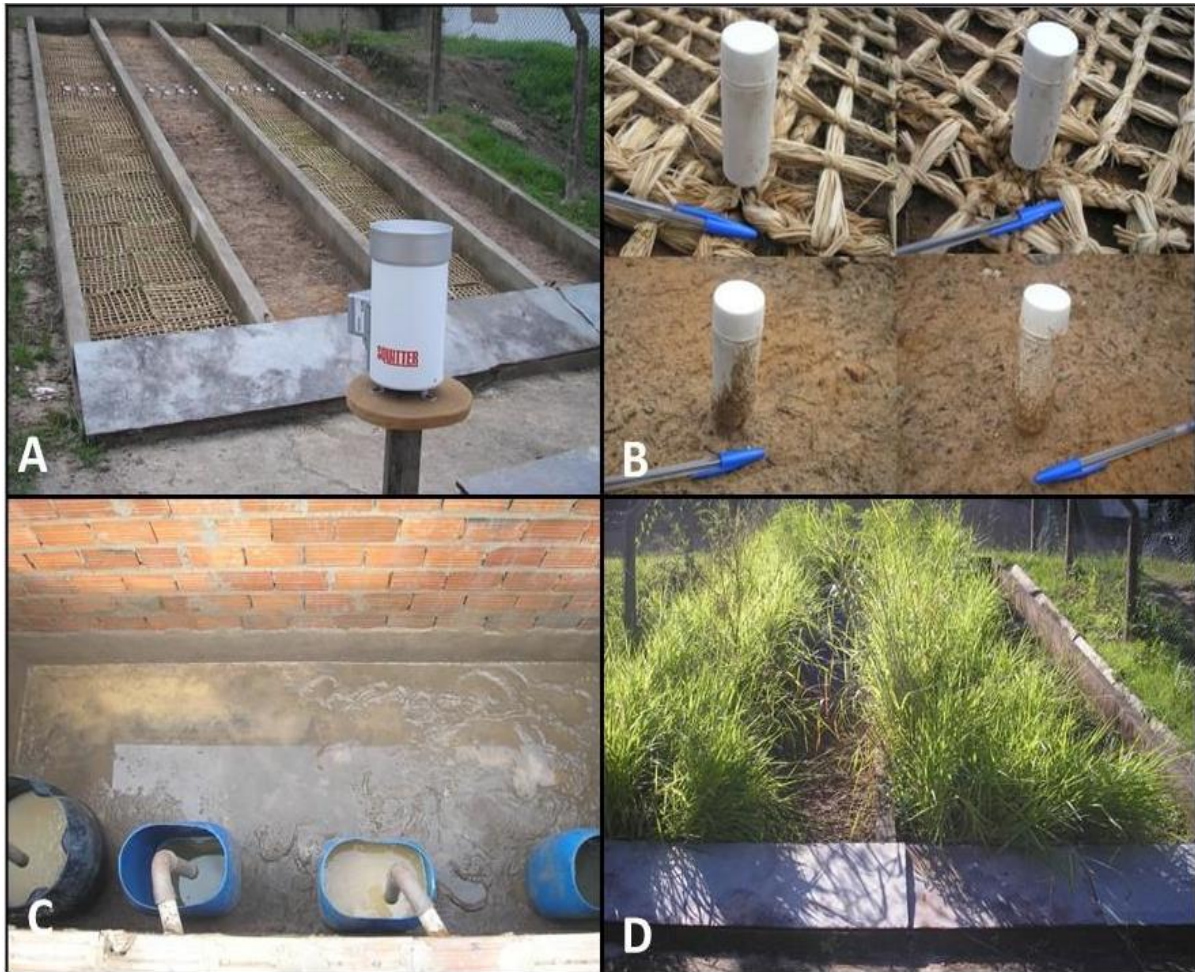


Figura 3. Estação experimental com geotêxteis e solo exposto em São Luís: A. Estação experimental e pluviômetro utilizado; B. Efeito splash erosion observado na estação no mesmo evento pluviométrico; C. Galões coletores do escoamento superficial e sedimento; e D. Estação após quatro meses de monitoramento.

O índice de cobertura vegetal por meio da fotocomparação e geoprocessamento demonstrou que o maior intervalo de crescimento da cobertura vegetal foi registrado entre os meses de fevereiro (0%) e março (33,35%) de 2009. A menor diferença encontrada no índice de cobertura vegetal foi observada entre os meses de maio (75,88%) e junho (81,19%), atingindo, 5,31%. Os pinos de erosão apresentaram diferenças na erosão laminar nas parcelas com solo exposto ao longo do período de monitoramento da estação experimental, sendo os maiores valores observados no mês de abril e maio, com 7,7 cm e 8,2 cm, respectivamente.

Os dados de potencial matricial, obtidos através de tensiômetros, demonstraram a variação nas profundidades de 10 cm, 20 cm, 40 cm e 60 cm, durante os meses de monitoramento, entre as parcelas com geotêxteis e com solo exposto. Enquanto na primeira, houve melhoria na circulação da água no perfil do solo nas diferentes profundidades, na segunda, a poro pressão negativa, tornou o solo mais seco.

O escoamento superficial gerado chegou a 208,57 L m² nas parcelas com geotêxteis, e um escoamento de 494,63 L m² na parcela com solo exposto, com um total de 2.067,50 mm de chuvas, durante os meses de monitoramento. As taxas de erosão foram bastante expressivas e divergentes nos dois tratamentos. A parcela com a biomanta perdeu 255,85 g m² de sedimentos, enquanto o experimento com a superfície exposta chegou a 4.390,96 g m².

No tocante à recuperação da voçoroca do Sacavém (Figura 4), esta foi dividida em quatro fases: implantação de um programa de educação ambiental na comunidade do Sacavém com oficina de produção dos geotêxteis de buriti, fixação das paliçadas de madeira e aplicação dos insumos e geotêxteis; e manutenção das obras.

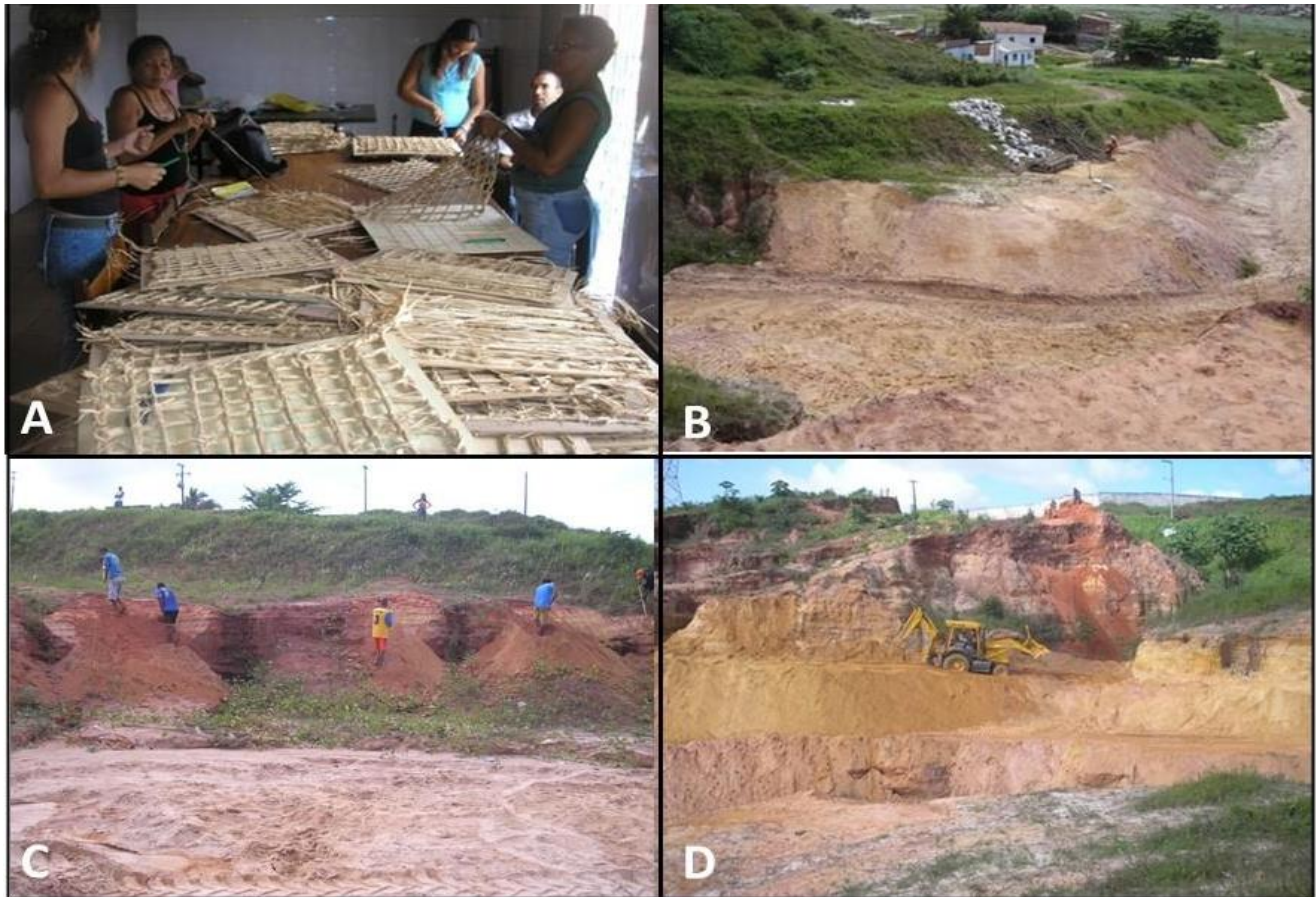


Figura 4. Recuperação da voçoroca do Sacavém: A. Geotêxteis de buriti produzidos pela comunidade do Sacavém; B. Preparação da encosta para adicionar adubo orgânico e aplicação dos geotêxteis; C. Retaludamento manual das paredes da voçoroca; D. Retaludamento com utilização da retroescavadeira.

O programa de educação ambiental na comunidade da Salina do Sacavém consistiu na organização de reuniões com moradores do bairro, com aplicação de questionários (idade, escolaridade, ofício, renda mensal e sexo), divisão dos grupos para aplicação do programa (Educação ambiental infantil e educação ambiental para jovens e adultos) e a implantação de oficinas com a produção dos geotêxteis de buriti, que foram utilizadas para a recuperação da área degradada.

Após essa fase, iniciaram-se as obras de recuperação, com a reconstrução dos taludes da voçoroca do Sacavém, visando atenuar a declividade e reduzir o comprimento da rampa, evitando o aumento da velocidade do escoamento superficial (Figura 5). No final das rampas foram colocadas paliçadas de madeira para ancorar os sedimentos inconsolidados. Com as rampas redimensionadas, foram aplicados os insumos, como o adubo de palmeira e sementes do capim braquiária, mucuna-preta, feijão guandu e unha de gato.



Figura 5. Recuperação da voçoroca do Sacavém: A. Geotêxteis de buriti produzidos pela comunidade; B. Aplicação de insumos e geotêxteis na encosta; C. Paliçadas de madeira aplicadas para a redução da energia do escoamento superficial; e D. Encostas com geotêxteis aplicados.

Os geotêxteis de buriti foram implantados nas rampas após essa fase com a finalidade de ancorar os sedimentos, adubo de palmeira e sementes, pois diminuem a velocidade do escoamento superficial, retêm a umidade, diminuem a insolação direta na superfície, fornecem matéria orgânica ao solo. A manutenção das obras de intervenção foi realizada mensalmente, garantindo o sucesso da técnica adotada. Após 10 anos de implantação dos geotêxteis, a área encontra-se completamente vegetada (Figura 6).

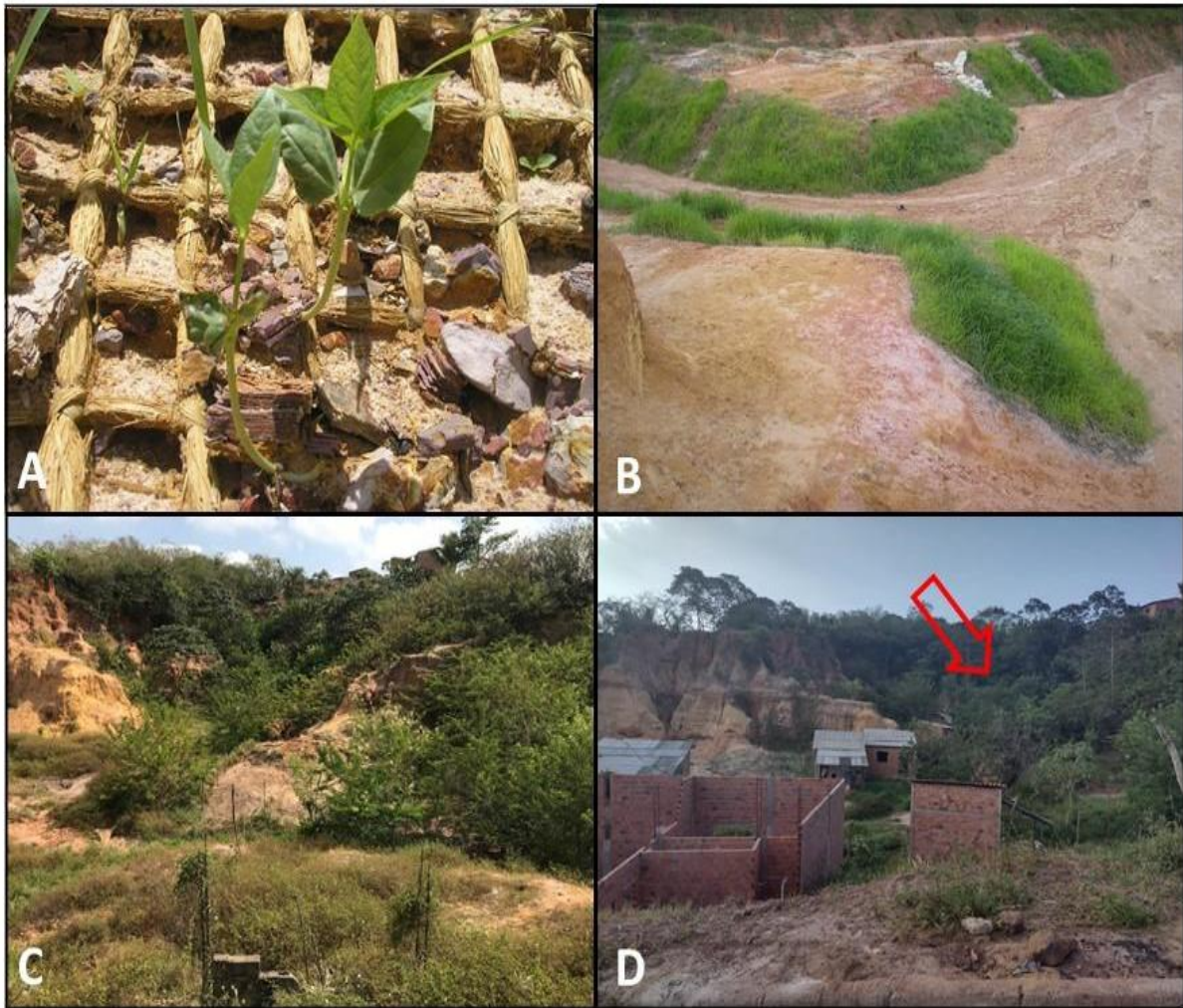


Figura 6. Desenvolvimento da cobertura vegetal na voçoroca do Sacavém. A. Início do desenvolvimento da cobertura vegetal; B. Gramíneas após um mês de sementeira; C. Área de intervenção com bioengenharia de solos após 10 de anos de implantação dos geotêxteis de buriti; D. Construção de residências no leito da voçoroca estabilizada.

4. Conclusões

Após uma extensiva revisão bibliográfica de trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais, foi possível demonstrar a importância da compreensão da dinâmica dos processos erosivos, quando se procura fazer sua recuperação.

Diversos exemplos internacionais foram aqui analisados, onde os autores utilizam diferentes formas de recuperação de voçorocas, usando técnicas de bioengenharia. A experiência, com a recuperação da voçoroca do Sacavém, demonstra como é possível, usando fibras regionais e conhecimento local, em conjunto com a experiência acadêmica, recuperar áreas degradadas. Além do uso de materiais sustentáveis, como foi o caso da fibra de buriti, houve a possibilidade da geração de renda para a população local, que trabalhou na confecção dos geotêxteis de buriti, bem como na colocação dessas telas, e em trabalhos gerais, para a recuperação da voçoroca.

Levando-se em consideração o custo de R\$ 20.000,00 reais, em 2008, e comparando-se com outras formas de recuperação de áreas degradadas, o presente artigo demonstra como é possível, a baixo custo, recuperar essas áreas e, ao mesmo tempo, trabalhar com a preocupação da sustentabilidade. Pela experiência, ao longo de algumas décadas, em monitorar processos e subprocessos em voçorocas e ravinas, fica bem claro a necessidade de continuar aprofundando no conhecimento sobre esse tema, bem como nas técnicas que vão se aperfeiçoando, e materiais que vão sendo descobertos, para esse fim.

Portanto, considera-se que o estudo dos processos erosivos lineares se torna cada vez mais necessário, tendo em vista a elaboração de projetos de recuperação de áreas degradadas, a partir da identificação dos seus mecanismos determinantes, assim como, de que maneira a ação humana pode interferir nesses processos, seja de

forma positiva ou negativa, pois suas consequências, no caso dos impactos negativos envolvem não apenas perdas materiais, mas também humanas.

Devido ao alto estágio erosivo que se encontrava a voçoroca do Sacavém, a utilização de geotêxteis biodegradáveis de fibra de buriti pode ser uma boa solução, de acordo com os resultados obtidos. Além do que, essa fibra é abundante na área de estudo, não requerendo custos para o transporte. Visto que a utilização da engenharia tradicional, onde se utilizam materiais pesados como concreto, ferro e máquinas de grande porte, além de causar maior impacto aos aspectos naturais e estéticos do ambiente, requerem um elevado investimento de capital, bem como não dão margem à participação da comunidade no processo.

Contribuições dos Autores: Antonio José Teixeira Guerra: Pesquisa bibliográfica sobre recuperação de áreas degradadas, no Brasil e no mundo. Redação do texto, bem como revisão do mesmo. José Fernando Rodrigues Bezerra: Pesquisa bibliográfica, monitoramento de voçoroca em São Luís, recuperação de voçoroca em São Luís, redação do texto. Maria do Carmo Oliveira Jorge: Pesquisa bibliográfica, redação e revisão do texto.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio financeiro da União Europeia, através do Projeto Borassus, ao CNPq, FAPERJ e FAPEMA.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ANDRADE, A.G.; PORTOCARRERO, H.; CHAVEZ, T.A. Bioengenharia de solos aplicada ao controle da erosão e a recuperação de áreas com alto nível de degradação. In: LOUREIRO, H.A.S., GUERRA, A.J.T. (Ed.). **Erosão dos Solos em Áreas Tropicais**. 1ª Ed. Rio de Janeiro (no prelo), Editora Interciência, 2022.
2. ARAÚJO, R. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; & MAFRA, R. L. P. Aspectos climáticos do município de São Luís-Maranhão no período de 1961 a 1998. In: V Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Curitiba. Contribuições científico-técnicas - V SBCG. Curitiba: Mídia Curitibana. **Anais**. p. 529-539, 2002.
3. BARBOSA, W. C. S.; LIMA, I. M. F. ; GUERRA, A.J.T. Análise multivariada da voçoroca urbana localizada na porção sul da bacia hidrográfica do baixo rio Parnaíba. **William Morris Davis Revista de Geomorfologia**, v. 2, p. 1-15, 2021.
4. BERGSMAN, E.; CHARMAN, P.; GIBBONS, F.; HURNI, H.; MOLDENHAUER, W.C.E.; PANICHAPONG, S. **Terminology for soil erosion and conservation**. Holanda: International Society of Soil Science: ITC, 1996.
5. BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Aplicação de geotêxteis biodegradáveis na redução do escoamento superficial e controle da erosão superficial, Uberlândia - MG. In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, p. 93-104, 2011.
6. BEZERRA, J. F. R.; RODRIGUES, S. C. Estudo do potencial matricial aplicado à recuperação de um solo degradado, Uberlândia - MG. **Caminhos de Geografia (UFU)**, v. 7, p. 14, 2006.
7. BEZERRA, J.F.R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia, na bacia do Rio Bacanga, São Luís - MA**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2011.
8. BHATTACHARYYA, R. FULLEN, M. A. BOOTH, C. A. KERTESZ, A. TOTH, A. SZALAI, Z. JAKAB, G. KOZMA, K. JANKAUSKAS, B. JANKAUSKIENE, G. BÜHMANN, C. PATERSON, G. MULIBANA, E. NELL, J. P. VAN DER MERWE, G. M. E. GUERRA, A. J. T. MENDONCA, J. K. S. GUERRA, T. T. SATHLER, R. BEZERRA, J. F. R. PERES, S. M. YI, Z. YONGMEI, L. LI, T. PANOMTARACHICHIGUL, M. Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments. **Land Degradation & Development** (Print), p. n/a-n/a, 2011.
9. BLUM, W.E.H. Soil protection concept of the Council of Europe. **Soil and Groundwater Pollution**. Springer, 72-73, 1995.
10. BOARDMAN, J. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, 73-86, 2006.
11. CAMAPUM de CARVALHO J., SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M.T.S. Processos Erosivos. In: CARVALHO, J. C., et al. (Ed.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília, Distrito Federal: Finatec, 2006.
12. DAGAR, J.C.; GUPTA, S.R. Agroforestry: Potentials for rehabilitation of degraded lands, constraints and the way forward. In: J.C. DAGAR E J.C. TEWARI (ed.). **Agroforestry Research Developments**. Nova Science Publishers, India, 47-97, 2016.
13. De VENETE, J.; POESEN, J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. **Earth Science-Reviews**, 71 (1-2), 95-125, 2005.
14. EEKHOUT, P.C.; de VENETE, J. Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. **Earth-Science Reviews**, 226, 1-12, 2022.
15. EMBRAPA. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 2002.

16. FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos Processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão**. Tese de Doutorado. Rio Claro: IGCE - Cp – UNESP. 249p,1996.
17. FEITOSA, A. C. **Evolução geomorfológica do litoral norte da Ilha do Maranhão**. Dissertação de Mestrado. Rio claro: IGCE – UNESP, 210p, 1989.
18. FEITOSA, A. C. Relevô do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. **Anais**. Goiânia, 2006.
19. FERREIRA, A. J. de A. **A estrutura espacial urbana maranhense**. Monografia de graduação. São Luís. 68 p., 1989.
20. FONSECA, F.A.; SCOTTI, M.R. Growth and root responses of woody species to rocky substrate: implications for gully rehabilitation. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, 152, 5, 918–928, 2018.
21. FONSECA, M. de J. B. **Evolução do uso da terra e problemas ambientais na área da bacia do rio Paciência: 1976 a 1995**. Monografia de Especialização. São Luís, 2001.
22. FOSTER, G.R. Understanding ephemeral gully erosion. **Soil Conservation Assessing the Natural Resources Inventory**, v. 2, Washington D.C., National Academies Press, 90-118, 1986.
23. FROTA FILHO, A. B.; VIEIRA, A. F. S. G. Monitoramento de Voçorocas na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. In: VIEIRA, A. F. S. G.; MOLINARI, D. C. (Ed.). **Geografia Física da Amazonia**. São Paulo: Alexa Cultural; Manaus: EDUA, 45-59, 2020.
24. FULLEN, M. A. SUBEDI, M. BOOTH, C. A. SARSBY, R. W. DAVIES, K. BHATTACHARYYA, R. KUGAN, R. LUCKHURST, D. A. CHAN, K. BLACK, A. W. TOWNROW, D. JAMES, T. POESEN, J. SMETS, T. KERTESZ, A. TOTH, A. SZALAI, Z. JAKAB, G. JANKAUSKAS, B. JANKAUSKIENE, G. BÜHMANN, C. PATERSON, G. MULIBANA, E. NELL, J. P. VAN DER MERWE, G. M. E. Utilising biological geotextiles: Introduction to the BORASSUS project and global perspectives. **Land Degradation & Development (Print)**, p. n/a-n/a, 2011.
25. GARRITANO, F.N. **Diagnóstico da degradação do solo na bacia do alto rio Pirai - RJ - monitoramento com uso de VANT em áreas com erosão em diferentes estágios de intervenção**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Geografia, UFRJ, 97p., 2020.
26. GOUDIE, A.C.; BOARDMAN, J. Soil erosion. In: ALCÁNTARA-AYALA, I.; GOUDIE, A.C. (Ed). **Geomorphological hazards and disaster prevention**. Cambridge University Press, Cambridge, 177-188, 2010.
27. GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R. Utilização da fotocomparação na reabilitação de áreas degradadas por erosão, a partir de uma estação experimental, Uberlândia - MG. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 28, p. 149-164, 2011.
28. GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; FULLEN, M. A.; MENDONÇA, J. K. S. ; JORGE, M. C. O. The effects of biological geotextiles on gully stabilization in São Luís, Brazil. **Natural Hazards (Dordrecht. Online)**, v. 75, p. 2625-2636, 2015.
29. GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; LIMA, L. D. M.; MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, T. T.; BUHMANN, C.; FULLEN, M. Land rehabilitation with the use of biological geotextiles, in two different countries. **Sociedade & Natureza (UFU. Impresso)**, v. 22, p. 431-446, 2010.
30. GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O. Gully Erosion and Land Degradation in Brazil: A Case study from São Luís Municipality, Maranhão State. In: DAGAR, JAGDISH CHANDER, SINGH, ANIL KUMAR. (Ed.). **Ravine Lands: Greening for Livelihood and Environmental Security**. 1ed. Cingapura: Springer Singapore, v. 1, p. 195-216, 2018.
31. GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n. 1, 27-41, 2017.
32. GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. ;RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R. ; LOUREIRO, H. A. S. ; GARRITANO, F. N. Erosão dos solos, diferentes abordagens e técnicas aplicadas em voçorocas e erosão em trilhas. **William Morris Davis Revista de Geomorfologia**, v. 1, 75-117, 2020.
33. GUERRA, A. J. T.; MENDES, S. P.; LIMA, F. L.; SATHLER, R.; GUERRA, T. T.; BEZERRA, J. F. R. Erosão Urbana e Recuperação de Áreas Degradadas no Município de São Luís - Maranhão. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 26, p. 85-135, 2009.
34. GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Degradação dos solos - abordagens teóricas e estudos de casos ao longo de 25 anos no âmbito do LAGESOLOS. **Humboldt - Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, 674-685, 2021.
35. HELMAN, D.; MUSSERY, A. Using Landsat satellites to assess the impact of check dams built across erosive gullies on vegetation rehabilitation. **Science of the Total Environment**, 730, 1-9, 2020.
36. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande. São Paulo, 3v. (IPT, Relatório, 28:184), 1990.

37. JORGE, M. C. O.; GUERRA, A.J.T. Erosão dos solos e movimentos de massa - recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (Ed.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 7-30, 2013.
38. KAUSHAL, R.; KUMAR, A.; PATRA, S.; ISLAM, S.; TOMAR, J.M.S.; SINGH, D.V.; MANDAL, D.; RAJKUMAR, H.; MEHTA, O.P.; DURAI, J. In-situ soil moisture conservation in bamboos for the rehabilitation of degraded lands in the Himalayan foothills. **Ecological Engineering**, 173, 1-8; 2021.
39. KERTÉSZ, Á. ; SZALAI, Z. ; JAKAB, G. ; TÓTH, A. ; SZABÓ, SZ. ; MADARÁSZ, B. ; JANKAUSKAS, B. ; GUERRA, A. ; BEZERRA, J. F. R. ; PANOMTARANICHAGUL, M. ; THU, D. CHAU ; YI, Z. Biological geotextiles as a tool for soil moisture conservation. **Land Degradation & Development (Print)** , p. n/a-n/a, 2011.
40. LAL, R., Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience* 60 (9), 708–721, 2010.
41. LEAKE, J.E.; SQUIRES, V.; SHABALA, S. Rethinking Rehabilitation of Salt-Affected Land: New Perspectives from Australian Experience. **Earth**, 3, 245–258, 2022.
42. LISBOA, G. S.; MORAIS, M. S. ; VIANA, J. D. ; SILVA, T. P. ; BEZERRA, J. F. R. ; GUERRA, A.J.T. Análise morfológica das áreas degradadas por voçorocamento na bacia do rio Bacanga - São Luís/MA. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 15-20, 2014.
43. LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, 871-892, 2020.
44. LOUREIRO, H.A.S. **Diagnóstico e Monitoramento de Áreas Degradadas na Bacia Hidrográfica do Rio São Pedro (RJ) - Estudo Experimental em Voçoroca e Utilização de Geotêxteis de Fibra de Bananeira**. Dissertação de mestrado, no Programa de Pós-graduação em Geografia, UFRJ, 216p., 2013.
45. LOUREIRO, H.A.S.; GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J.F.R.; PEREIRA, L.S.; GARRITANO, F.N. Monitoramento da erosão hídrica no Brasil: dos métodos manuais, aos digitais. In: CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, M.C.V.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. 530-563, 2022.
46. MARANHÃO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. São Luís, 1998.
47. MORAIS, M. S.; LISBOA, G. S. ; VIANA, J. D. ; SILVA, T. P. ; GUERRA, A. J. T. ; BEZERRA, J. F. R. . Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Bacanga, município de São Luís - MA. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 531, 2014.
48. MORAIS, M. S.; OLIVEIRA, R. C.; BEZERRA, J. F. R. ; MACEDO, S. A. Análise do uso e cobertura da terra e dos sistemas antrópicos da bacia hidrográfica do rio Bacanga - São Luís. **REDE: Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 15, p. 137-148, 2022.
49. MORGAN, R.P.C., Nearing, M.A. **Handbook of Erosion Modelling**. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 401p., 2010.
50. NEARING, M.A.; PRUSKI, F.F.; O'NEAL, M.R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. **Journal of Soil and Water Conservation**, 59, 1, 43-50, 2004.
51. PASCOTO, T.V.; FUREGATTI, S.A.; PEIXOTO, A.S.P. Classificação das erosões da área urbana de São Manuel – SP. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, Bahia, 1-10, 2018.
52. PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do Solo e aquífero do reservatório Batatã - São Luís (MA)**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro. 2006.
53. PEREIRA, L.S.; RODRIGUES, A.M.; JORGE, M.C.O.; GUERRA, A.J.T.; BOOTH, C.A.; FULLEN, M.A. Detrimental effects of tourist trails on soil system dynamics in Ubatuba Municipality, São Paulo State, Brazil. **Catena**, v. 216, 1-15, 2022.
54. PETERSON, R.B.; KAPIYOB, R.A.; CAMPBELL, E.M.; NYABUAD, P.O. Gully Rehabilitation Trusts: Fighting soil erosion through community participation in western Kenya. **Journal of Rural Studies**, 58, 67-81, 2018.
55. PIMENTEL, D. Soil erosion: a food and environmental threat. **Environ. Dev. Sustain.** 8 (1), 119–137, 2006.
56. POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 91, 133, 2003.
57. POESEN, J.; TORRI, D.; VANWALLEGHEM, T. 2011. Gully erosion: procedures to adopt when modelling soil erosion in landscapes affected by gully erosion. In: MORGAN, R., NEARING, M. (Ed.). **Handbook of Erosion Modelling**. Blackwell Publishing Ltd., 360–386, 2011.
58. RODRIGUES, S. C.; BEZERRA, J. F. R. Study of matric potential and geotextiles applied to degraded soil recovery, Uberlândia (MG), Brazil. **Environmental Earth Sciences (Print)**, v. 60, p. 3-10, 2010
59. SANTOS, L. J. C.; WESTPHALEN, L. A. Erosão dos Solos no Noroeste do Paraná. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (Ed.). **Degradação dos Solos no Brasil**, 1ª edição, Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 293-317, 2014.
60. SMETS, T. ; POESEN, J. ; BHATTACHARYYA, R. ; FULLEN, M. A. ; SUBEDI, M. ; BOOTH, C. A. ; KERTÉSZ, A. ; SZALAI, Z. ; TOTH, A. ; JANKAUSKAS, B. ; JANKAUSKIENE, G. ; GUERRA, A. ; BEZERRA, J. F. R. ; YI, ZHENG ;

- PANOMTARANICHAGUL, M. ; BÜHMANN, C. ; PATERSON, D. G. Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. **Land Degradation & Development (Print)**, p. n/a-n/a, 2011.
61. SUN, Y.S.; DAI, S.; PORTMANN, R.W. How often will it rain? *Journal of Climate*, 20, 19, 4801-4818, 2007.
62. THWAITES, R.N.; BROOKS, A.P.; PIETSCH, T.J.; SPENCER, J.R. What type of gully is that? The need for a classification of gullies. **Earth Surface Processes and Landforms**, 47: 109-128, 2022.
63. TOMAR, J.M.S.; AHMED, A.; BHAT, J.A.; KAUSHAL, R., SHUKLA, G.; KUMA, R. Potential and Opportunities of Agroforestry Practices in Combating Land Degradation. In: SHUKLA, G., CHAKRAVARTY, S., PANWAR, P., BHAT, J.A. (Ed.). **Agroforestry – Small Landholder’s Tool for Climate Change Resiliency and Mitigations**. IntechOpen, 1-13, 2021.
64. TORRI, D; BORSELLI, L. Equation for high-rate gully erosion. **Catena**, v. 50, 449–467, 2003.
65. UDOFIA, S.I.; JACOB, D.E.; OWOH, P.W.; SAMUEL, N.S. Stemming environmental degradation: the afforestation approach. **Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment**. V. 7(1):22-27, 2011.
66. VANMAERCKE, M. ; POESEN, J. ; MELE, B. V. ; DEMUZERE, M. ; BRUYNSEELS, A. ; GOLOSOV, V. ; BEZERRA, J. F. R. ; BOLYSOV, S. ; DVINSKI, A. ; FRANKL, A. ; FUSEINA, Y. ; GUERRA, A. J. T. ; HAREGEWEYN, N. ; IONITA, I. ; IMWANGANA, F. M. ; MOEYERSONS, J. ; MOSHE, I. ; SAMAN, A. N. ; NIACSU, L. ; NYSSSEN, J. ; OTSUKI, Y. ; RADOANE, M. ; RYSIN, I. ; RYZHOV, Y. V. ; YERMOLAEV, O. How fast do gully headcuts retreat?. **Earth-Science Reviews**, v. 154, 336-355, 2016.
67. VINES, T.H.; ALBERT, A.Y.; ANDREW, R.L.; DEBARRE, F.; BOCK, D.G., FRANKLIN, M.T.; GILBERT, K.J.; MOORE, J.S.; RENAUT, S.; RENNISON, D.J. The availability of research data declines rapidly with article age. **Current Biology**, 24, 94–97, 2014.
68. YITBAREK, T.W.; S. BELLIETHATHAN, S.; L.C. STRINGER; L.C. The onsite cost of gully erosion and cost-benefit of gully rehabilitation: a case study in Ethiopia. **Land degradation & development**, 23, 157–166, 2012.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.