

VI-200 – BIOENGENHARIA DE SOLOS COMO ALTERNATIVA A ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS: BR-101 NORTE /PE

Natércia M. Correia de Araújo⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Mestra em Tecnologia Ambiental pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco-ITEP. Funcionária da Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH/PE.

Niédja Maria Galvão Araújo e Oliveira⁽²⁾

Doutora em Geografia Física pela Academia de Ciências de Cuba-IGP, homologado através da Universidade de São Paulo/USP. Professora e Pesquisadora do Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental da Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Boa Viagem, 296 – Boa Viagem - Recife - PE - CEP: 51011-000 - Brasil - Tel.: (81) 4101-7946 - e-mail: naterciamcaraujo@hotmail.com.

RESUMO

A estabilização de encostas de rodovias, através das técnicas da bioengenharia de solos, é um formato que no Brasil poucos estudos existem e ainda não se tem dado considerável importância como nos países europeus. Estes fenômenos são frequentes causas de acidentes humanos, muitas vezes atingindo a letalidade, e de danos materiais constituindo uma forte pressão ambiental, de suma importância, e gerando áreas em desequilíbrio ou desestabilizadas em seus sistemas, destruindo espaços de encostas e o que nelas existem. Mobilizam grandes volumes de materiais terrosos e/ou rochosos e vegetacional carreando-os para o leito da rodovia, colocando em risco os usuários e causando prejuízos ao Poder Público, casos explícitos da BR-101.

Nesse sentido a pesquisa tem como objeto a zona da Mata Norte de Pernambuco, BR-101 Norte, trecho compreendido entre a divisa do estado da Paraíba até o município de Igarassu (41,4km), coordenadas geográficas, E: 280991; N: 9170720 e E: 289054; N: 9133447, do sistema SIRGAS 2000, MC 33° WGR, segundo a projeção Universal Transversal de Mercator (UTM). Nesse trecho da rodovia se faz comum às precipitações elevadas geradoras de deflagração e a evolução dos processos de erosão e deslizamentos das encostas conjugadas as oscilações térmicas, elementos que ratificam o Clima Tropical, quente e úmido. O estudo versou como objetivo a utilização da metodologia da Bioengenharia de solos, para atender os fatos de reincidência nos deslizamentos dos taludes da rodovia BR-101. Na pesquisa em pauta conclui-se de forma basilar e de fundamental importância à implantação de retaludamento e inclusão de espécies nativas que venham a perpetuar o meio, e simultaneamente proteger a ação de degradação com a erosão linear.

PALAVRAS-CHAVE: Bioengenharia de solos, Erosão, Movimentação de massa, Taludes, Rodovia.

INTRODUÇÃO

A área pesquisada encontra-se no domínio fisiográfico da zona da mata seca no estado de Pernambuco como se visualiza na figura 1. A geologia que a BR-101 atravessa, está contida na Bacia Costeira Sedimentar do Grupo Paraíba, distinguindo-se por relevo ondulado e de baixa ondulação, colinas e tabuleiros, com base em rochas sedimentares relacionado com as rochas cristalinas.

Apresenta solo profundo, do tipo latossolo roxo amarelado, distrófico e areias quartzosas distróficas de até 2 metros de profundidade, com boa drenagem, porém, às vezes, a água se acumula sobre uma camada laterizada, predominam os solos distróficos coesos, principalmente argissolos amarelos e latossolos amarelos, além dos domínios importantes de solos da ordem dos espodosolos.

No contexto dos argissolos e espodosolos, segundo o autor, são frequentes horizontes pedogenéticos cimentados, desde aqueles com cimentação fraca (fragipãs) até aqueles com cimentação forte, por exemplo, horizontes do tipo *ortstein* observado em espodosolos. Em áreas suavemente abaciadas, comuns nos topos dos tabuleiros, além dos espodosolos, encontram-se alguns argissolos acinzentados com ou sem a presença de horizontes cimentados.

Na área pesquisada, ocorrem solos das classes latossolos amarelos; podzólicos amarelos e vermelho-amarelo; gleissolos distróficos e solos aluviais.

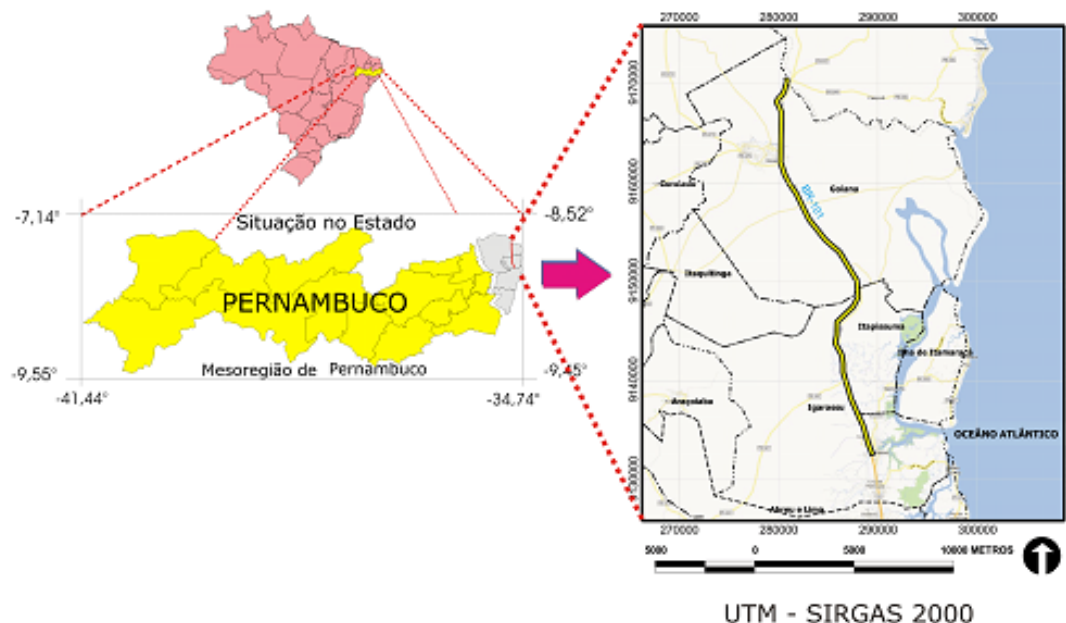


Figura 1: Localização geográfica da área da pesquisa

A cobertura vegetal dessa região tem peculiaridades dos ambientes fitogeográficos da Floresta Ombrófila (Mata Atlântica) nas áreas de vertentes e o Cerrado nos tabuleiros. Importante se faz frisar a diversidade de solos que se somam aos fatores anteriores provocando forte impacto na estabilização das encostas devido às variações volumétricas da massa. Inúmeros outros agentes atuam na área, entretanto o fator hídrico é o mais determinante.

Na prática, a estabilização de encostas depende da aplicação de estrutura capaz de reter o elemento hídrico, e que possa alcançar altos níveis de força de sustentação. A perda da camada superficial do solo pela ação da água, do vento, e de atividades exploratorias reduzem a fertilidade do solo, todavia se ocorrer grande teor de infiltração esse solo pode entrar em colapso no tocante ao processo de saturação, sujeito ao deslizamento. A cobertura vegetal passa a ser eficaz no sentido de reduzir a intensidade da ação dos agentes naturais atuantes nas vertentes.

Diante dessa conjuntura, a Bioengenharia de solos, ou engenharia natural, apresenta-se como uma alternativa ambiental, uma vez que norteia para a solução dos problemas. Essas práticas, quando corretamente aplicadas, trazem ganhos estéticos, ecológicos e de baixo custo de manutenção. A essência básica é aproveitar as propriedades da vegetação para estabilizar o solo, enquanto estruturas bem concebidas evitam falhas e permitem que, com o tempo, a vegetação se estabeleça permitindo sustentabilidade ao solo.

O pai da Engenharia natural, Hugo Meinhard Schiechl (1980, tradução nossa), conceitua Bioengenharia de solos: “Técnica em que plantas, ou partes destas, são usadas como material vivo de construção. Sozinhas, ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento”.

A Bioengenharia de solos, segundo Franti (2006), remonta aos povos antigos Ásia e da Europa, com registros de obras desenvolvidas por chineses e Europeus. No Brasil, a bioengenharia ainda é pouco conhecida e empregada. Durlo e Sutili (2012) acrescentam que ainda não existe conhecimento suficiente sobre as características das plantas potencialmente utilizáveis, que possibilite a implantação segura das obras de bioengenharia. Apenas com uma visão sistemática resultante de estudos, experimentos e observações, será possível se obter sucesso e garantia do trabalho ao longo do tempo.

As técnicas de Bioengenharia de solos são adequadas para uma grande variedade de situações, desde a estabilidade de taludes de corte e aterro, encostas erodidas, até margens de cursos de água. Essas técnicas

podem ser aplicadas em qualquer zona climática, onde as plantas que se utilizam como materiais vivos construtivo possam desenvolver-se, como é o caso dos trópicos, das zonas subtropicais e nas zonas temperadas (ZEH, 2007), e em especial para a área pesquisada. Na execução, recomendam-se preferencialmente os materiais localmente disponíveis e o mínimo de equipamento pesado. Essa técnica relaciona-se não só com a modalidade da obra, como com a disponibilidade de materiais vivos na região.

A figura 2 apresenta um esquema funcional da Bioengenharia de solos e suas áreas de aplicação.

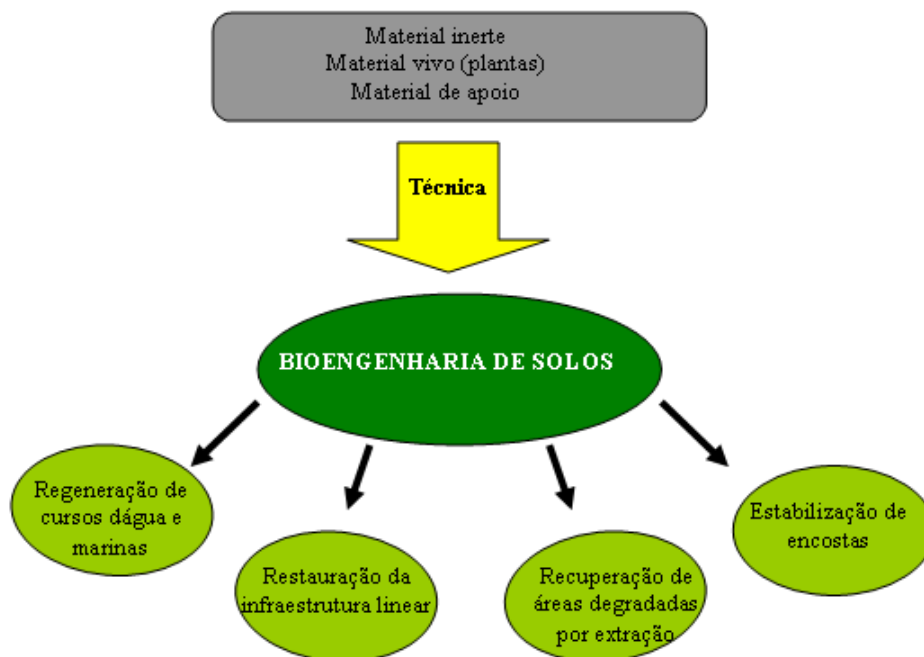


Figura 2: Esquema funcional da bioengenharia

Entre as técnicas tratadas na literatura podem ser mensuradas as demonstradas a seguir:

Live fascines: definida por Sotir e Gray (1992) como uma técnica que consiste em longos feixes de ramos de vegetação, unidos como um rolo, dispostos em valas rasas e secas. Em encostas íngremes, reduz a erosão do solo. A técnica tem eficácia para a estabilização de encostas; redução erosão superficial propicia o estabelecimento da vegetação, criando um micro clima favorável ao crescimento das plantas, figura 3 a.

Branchpacking: a técnica consiste em alternar camadas de estacas e ramos vivos com aterro compactado, como mostrado na figura 3 b. Os ramos e as estacas, uma vez instalados, as raízes ramificadas formam uma massa unificada que fornecem reforço imediato ao solo. Eficaz na estabilização de pequenas erosões, em encostas e taludes (SOTIR; GRAY, 1992).

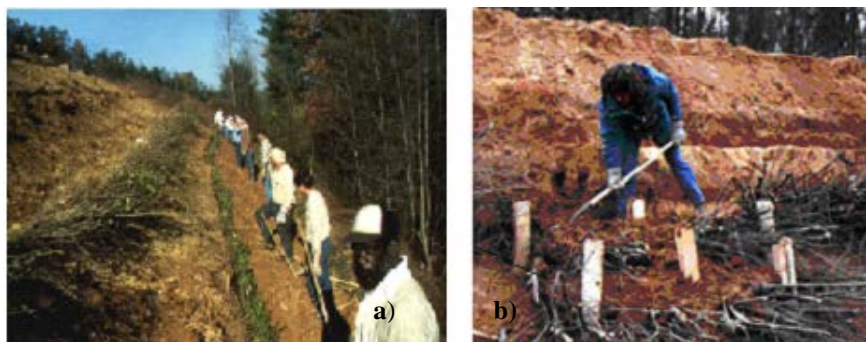


Figura 3: Técnicas de Bioengenharia. a) instalação da live fascine; b) plantio da vegetação da branchpacking.

Live cribwall: estrutura tridimensional criada com madeira natural, com preenchimento e estacas vivas (Figura 4). De acordo com Lewis (2000), essa estrutura, uma vez preenchida, funciona como um muro de contenção. As madeiras fornecem proteção e imediata estabilidade para a estrutura, no entanto, sua importância é diminuída gradualmente à medida que se decompõem, e as estacas vivas crescem e se desenvolvem. A massa de raízes resultante liga o preenchimento e o solo em uma única massa coesiva (SOTIR; GRAY, 1992). Por ser uma técnica da bioengenharia com estrutura mais complexa, sua construção pode causar uma considerável intervenção no local.



Figura 4: Instalação do live cribwall na base do talude.

Brushlayers: técnica similar ao sistema live fascines; ambas envolvem o corte e plantio de feixes de ramos vivos em encostas. Porém, as duas técnicas diferem na orientação das estacas e a profundidade das valas escavadas nos taludes, conforme mostra a figura 5 (LEWIS, 2000).



Figura 5: Momento do plantio dos feixes de vegetação.

Recomenda-se as camadas dos ramos de vegetação dispostas em terraços com dois terços do material vivo inclinado na encosta e cobertos com o mesmo solo. Os ramos devem se projetar para além da face da vala no sentido de proporcionar o crescimento da vegetação.

Sob essa ótica, o trabalho objetivou de forma central, apresentar a técnica de Bioengenharia de solos, *Brushlayer*, Sotir e Gray (1992), como recurso de promover a estabilidade das superfícies das encostas da BR-101 Norte/PE, justifica-se o fato por ser o talude de corte com valas perpendiculares ao contorno da superfície, com declividade 2:1, e com altura não excedente a 4,57 metros, medidas encontradas nas áreas estudadas.

Importante também dentro da justificativa que a técnica deva ser aplicada para restaurar taludes erodidos, com perdas de solo, no qual as camadas de ramos vivos venham reforçar o solo com o preenchimento dos espaços vazios através do seu sistema radicular.

No que concerne à retenção de detritos com rochas e a presença de água em solos molhados e em áreas secas, a técnica *Brushlayers* auxilia a infiltração, complementando com o ajuste do microclima local e auxiliando a germinação de sementes e regeneração natural. Em solos com índice de erosão elevado, sugere-se o uso de biomantas com pequenas aberturas, recobrando a vertente entre o solo e a *Brushlayers*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Metodologicamente a pesquisa envolveu uma revista bibliográfica, trabalho de campo para subsidiar levantamento de dados climáticos e dados para aferir as perdas por erosão de bordas, através do monitoramento das encostas.

Aplicou-se a metodologia proposta por Cunha e Guerra (1996), modificada por Oliveira, Carvalho e Silva Neto (2007), para o monitoramento das encostas durante o período de agosto/2011 a julho de 2012, com coleta de dados mensais, visando ao final quantificar as perdas de solo nas bordas dos taludes ocasionadas pelo movimento de massa.

As atividades de campo iniciaram-se com a identificação dos taludes no trecho da rodovia, localizando-se com coordenadas geográficas, fotografias e medição de declividade.

A escolha dos taludes monitorados realizou-se de forma a abranger todo o trecho da pesquisa, selecionando os cortes e aterro de declividade acentuada de forma a obter uma representatividade da geomorfologia da área.

A identificação dos taludes ocorreu com o procedimento de fixação de estacas-testemunha numeradas de 1 a 9, nas bordas das 9 vertentes as estacas, numeradas e distanciadas da extremidade superior do talude em 2 m, observando que deverá ficar enterrado no solo pelo menos 30 cm, de maneira firme e retilínea, para assegurar a interferência de animais. A figura 6 mostra o momento da marcação do talude 1 e a estaca com identificação numérica correspondente ao marco inicial.



Figura 6: Momento da identificação do marco 1 e detalhe da estaca testemunha, com numeração.

A precipitação pluviométrica se fez pertinente, visto que o movimento de massa tem suas bases no agente hídrico, requerendo análise pluviométrica do período de 30 anos, agosto de 1982 a julho de 2012.

Os valores da precipitação mensal obtiveram-se da Agência Pernambucana de Águas e Climas - Apac, Estação Experimental de Itapirema, no município de Goiana/PE, coordenadas geográficas: 7°38'39'; 34°56'56'.

Trataram-se os dados no editor de planilha do Microsoft Excel®, executaram-se a formatação dos resultados e gráfico, que subsidiaram a análise do período total, objetivando as variações pluviométricas e suas correlações ao movimento de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O agente hídrico por ser um elemento basilar no efeito erosivo linear e responsável pelo processo de saturação de solos e subsolo conduz a uma expectativa do nó górdio para justificar a erosão de bordas, norteando a necessidade de análise do clima em 30 anos, como se verifica a seguir.

A área deste trabalho está identificada com alto índice de precipitação, apresentou um quantitativo de 1.987,4mm, média de chuvas anuais em 30 anos.

Em todo espaço de tempo à insuficiência de chuvas registrou-se nos meses de outubro com 50,06mm, novembro com 48,2 mm e dezembro com 51,13 mm, enquanto os índices máximos ocorreram em maio (270,8 mm), junho (320,3 mm) e julho com 284,6 mm; finalizando o período chuvoso agosto registrou 181,37mm de chuvas, como mostra a figura 7.

A magnitude da intensidade pluviométrica confirma-se quando uma elevada precipitação anual, bem distribuída ao longo dos meses, possui capacidade erosiva muito menor em relação a uma precipitação anual mais reduzida, porém concentrada num período determinado do ano, cenário responsável pela extensiva denudação dos taludes provocada pelo movimento de massa.

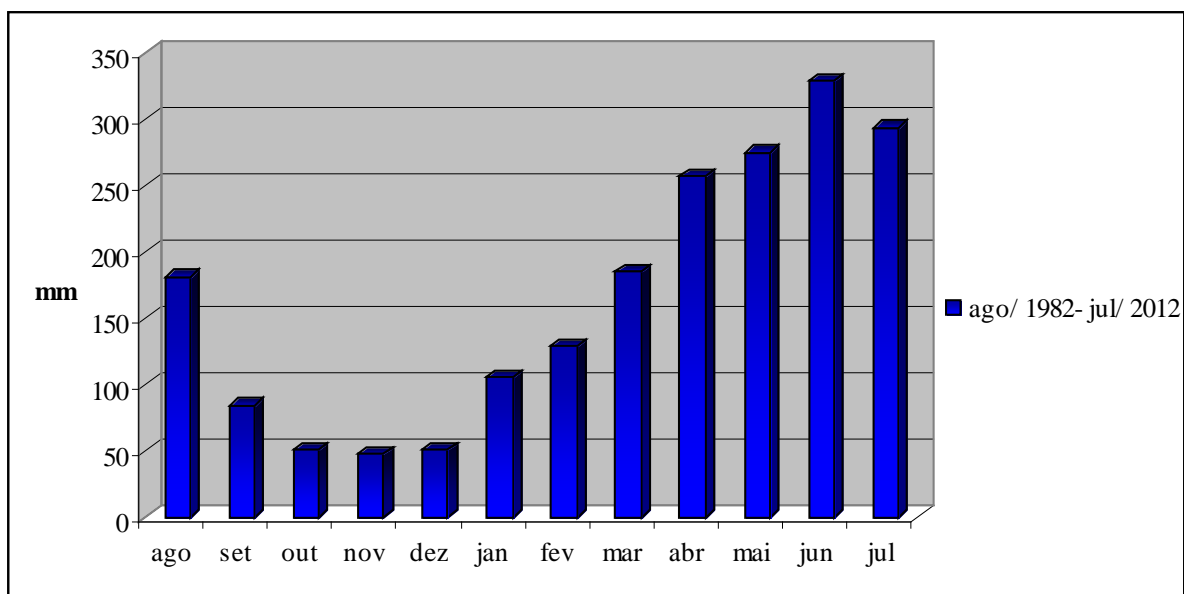


Figura 7: Médias pluviométricas mensais do período de 30 anos

Nos meses de junho/2012 e julho/2012 de índices pluviométricos mensais de 244,9 mm e 276,1mm visualizados na figura 8, e os dados coletados a partir do monitoramento dos taludes explicitam-se na tabela 1, na qual se visualiza as perdas de solo nos marcos de números 1; 5; 6; 7 e 8.

Evidencia-se, entretanto com exceção a regra para o mês de janeiro que obteve 362, mm de chuva, o mais expressivo do período, ocorrendo após cinco meses de baixo índice de precipitação, circunstância que tornou o solo seco, não causou movimento de massa.

A análise dos dados sobre os índices pluviométricos foi fundamental para uma avaliação mais aprofundada dos parâmetros que atuaram no movimento de massa dos taludes durante o monitoramento. Compõe um acervo de destaque para o entendimento dos deslizamentos superficial.

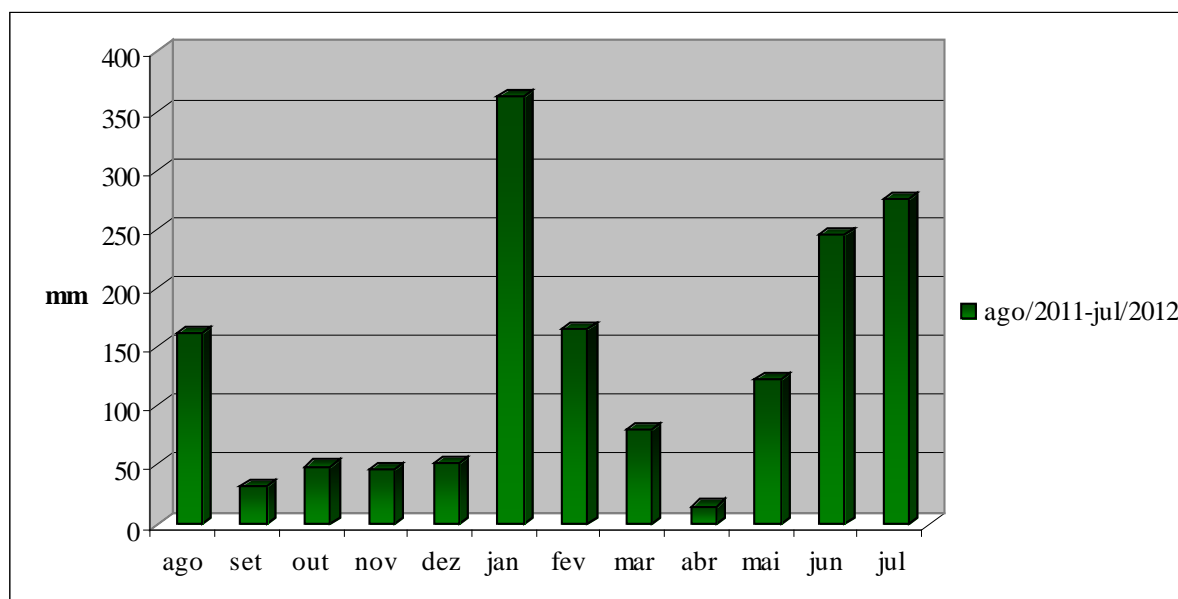


Figura 8: Médias pluviométricas mensais no período de 12 meses

Após a obtenção e análise dos dados pluviométricos, e avaliação dos resultados do monitoramento apresentados na tabela 1, com identificação das datas e medidas coletadas durante o desenvolvimento da

pesquisa, pode-se afirmar que o processo erosivo atuou em resposta aos elevados índices pluviométricos nos meses junho e julho, contribuindo de forma efetiva para as perdas de solo.

Tabela 1: Resultados do Monitoramento dos taludes da BR-101 norte/PE

Marco Nº	ano 2011						ano 2012					
	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
					Resultados (metros)							
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-3,2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-3,3	0,8
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-3,3	0,8
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-3,7
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,7	1,6
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

ANÁLISE DOS PONTOS MONITORADOS

Com os resultados obtidos constataram-se que:

✓ Marco 1 – Definido por talude de corte de coordenadas E:280255; N: 9167277, solo Podzólico Amarelo e Podzólico Amarelo e Vermelho-amarelo, todos Álicos e Distróficos desenvolvidos em sedimentos do Grupo Barreiras.

Ao final do décimo mês do monitoramento, não houve registro de perdas de solo, no entanto, nesse período, conforme análise climática, o baixo índice de chuvas na região contribuiu para a estabilização da superfície das encostas.

Ocorreram perdas de solo de 3,2 m na borda do talude, nos meses de junho e julho/2012, com precipitação de 244,9 mm e 276,1 mm, provocaram movimento de massa do tipo translacional, visto na figura 9.



Figura 9: Marco 1, movimento de massa translacional.

✓ Marcos 5 e 6 - localizados em taludes de corte, distintos, coordenadas E: 287798; N: 9150127, possuem a mesma classe de solos. Primeira Podzólicos Amarelo, e a segunda Podzólicos, desenvolvidos em sedimentos do Grupo Barreiras do Terciário-Quaternário.

No que concerne à precipitação máxima nos meses de junho e final de julho de 2012, levou o desencadeamento perdas de 4,5m de borda para ambos os taludes, e movimento de massa rotacional, visualizado na figura 10.



Figura 10: Marcos 5 e 6, apresenta movimento de massa rotacional.

✓ Marco 7 – locado na borda da voçoroca de grande extensão, coordenadas E: 285827; N: 9145580, situada na margem esquerda da BR-101, considerando o sentido Paraíba-Pernambuco. O solo se apresenta em 3 classes: os Podzólicos Amarelo, seguido dos Podzólicos e os Latossolos Amarelos. Ocorreu perda de 3,7m de solo, vista figura 11.



Figura 11: superfície contínua de ruptura, provocada pelo efeito hídrico no solo.

✓ Marco 8 – Nesse marco, tomou-se como referência a defesa da rodovia. Localizado em área urbana, talude de aterro, coordenadas E: 286469; N: 9142733, visto na figura 12, ocupa espaço de relevo plano, classe dos Gleissolos Distrófico, Aluviais Distróficos e Eutroficos.

Perdas de solo 0,70 m de borda de talude, ocorrido nos meses de junho e julho/2012. Destaca-se com clareza o início de processo de voçorocamento, em que se observam as ravinas profundas no solo, provocada pelas águas drenadas da área da plataforma da rodovia. Caso semelhante, porém em menor escala, ao marco 7.



Figura 12: início do processo de erosão no marco 8.

CONCLUSÃO

Diante do exposto concluiu-se e recomenda-se que:

O índice pluviométrico é bastante elevado (1987,4mm), média do período de agosto/1982 a julho/2012, levando a desestabilização das encostas.

O monitoramento dos 9 marcos indicou processo erosivo das bordas, momento em que os marcos de maior erosão foram os de número 5 e 6, com perda de 4,5m, e o de menor erosão de borda foi o número 8 com 0,70m. Com relação ao marco 7, houve um processo de erosão acentuada gerando uma grande voçoroca.

Os processos de deslizamentos ocorridos são resultantes da associação das características naturais dos solos de formação arenosa que configuram os taludes de corte e aterro.

A alta pluviosidade ocorrida nos meses de junho/2012, 244,9 mm e julho/2012 276,1 mm atuaram como agente desencadeador da desestabilização dos solos, de modo a se tornar previsível as consequências e possível às ações do Poder Público.

Recomenda-se o retaludamento das vertentes erodidas, com o objetivo de suavizar a inclinação acrescentando a biomanta como recobrimento superficial associada à técnica Brushlayers, elementos essenciais na minimização da degradação dos taludes estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas
2. CUNHA, Sandra B.; GUERRA, Antonio José Teixeira. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 356 p.
3. DURLO, Miguel A; SUTILI, Fabrício J. Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água. 2. ed. Santa Maria, RS: Edição do autor, 2012. 189 p.

4. FRANTI, Thomas G. Bioengineering for hillslope, streambank and lakeshore erosion control. Lincoln: University of Nebraska-Lincoln, 2006. G96-1307. 8 p.
5. OLIVEIRA, Niédja Maria Galvão A; Carvalho, João Allyson Ribeiro de; SILVA NETO, Manoel Anísio da. Instabilidade do compartimento dos glaciais de acumulação, setor leste do município de Camaragibe: deslizamentos e voçorocas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA DO NORDESTE, 1, 2007. Universidade Regional do Cariri - Urca. Trabalhos apresentados... Cadernos de cultura e ciência. vol. 2. nº. 2, supl, especial, p.1-8, maio 2007.
6. SOTIR, Robbin B.; GRAY, Donald H. Soil bioengineering for upland slope protection and erosion reduction. In: UNITED STATES. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Engineering field handbook. New York, 1992. chap. 18, p.18-1/18-53.
7. ZEH, Helgard. Ingeniería biológica: manual técnico. Zürich: Verein für Ingenieurbiologie, 2007. 448 p. Disponível em: <www.books.google.es/books?vid=isbn9783728130556>. Acesso em: 4 jul. 2011.