

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HANNA BARRETO DE ARAÚJO FALCÃO

**APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS COMO PROPOSTA DE SOLUÇÃO NA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM JOÃO PESSOA/PB**

JOÃO PESSOA
2019

HANNA BARRETO DE ARAÚJO FALCÃO

**APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS COMO PROPOSTA DE SOLUÇÃO NA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM JOÃO PESSOA/PB**

Monografia apresentada à coordenação do curso superior em Engenharia Civil, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), campus I, João Pessoa/PB, como pré-requisito parcial para obtenção do diploma de conclusão do curso.

Orientador: Prof.º Dr. Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA
2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F178a Falcao, Hanna Barreto de Araujo.
APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS COMO PROPOSTA DE SOLUÇÃO NA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM JOÃO PESSOA/PB / Hanna
Barreto de Araujo Falcao. - João Pessoa, 2019.
85 f.

Orientação: Fabio Lopes Soares.
Monografia (Graduação) - UFPE/CT.

1. estabilidade de talude. 2. geossintético. 3. solo
reforçado. 4. custo. I. Soares, Fabio Lopes. II. Título.

UFPE/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

HANNA BARRETO DE ARAÚJO FALCÃO

APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS COMO PROPOSTA DE SOLUÇÃO NA
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE EM JOÃO PESSOA/PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 31/07/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:


Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Anne Flavia Nunes Remigio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Paulo Germano Toscano Moura
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO


Prof. Andrea Brasiliano Silva
Matricula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Prof. Pablo Brito de Sousa
Vice-Coordenador CCGEDCT/UFPB
SIAPE 1483214

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sua infinita misericórdia concedida a mim durante estes anos, me dando força e sustento nos dias bons e ruins.

Aos meus pais, Jacileide e Edvaldo, por todo esforço e incentivo a mim dedicados, para que eu pudesse concluir mais esta etapa de minha vida. Obrigada por estarem comigo e por serem compreensivos mesmo nos dias mais difíceis, e por vibrarem comigo em todas as minhas conquistas.

Ao meu irmão João Gabriel, por sempre atender a um chamado ou pedido meu.

A meu namorado, Alex, por todo seu carinho e apoio, especialmente nessa reta final, sempre me mostrando que eu era capaz e acalmando minha inquietude nos dias ansiedade. Obrigada por estar sempre ao meu lado em todas as situações e ser sinônimo de felicidade em minha vida.

Aos amigos conquistados na universidade, Camila, Rafaela, Michelle, Anna Kryslene e Leonardo, pela amizade e parceria durante os anos da graduação, tornando a caminhada menos amarga e mais prazerosa. Foi uma jornada de muitos aprendizados e amadurecimento, e a eles agradeço a alegria da convivência.

Aos amigos de longa data, Mayara e Jorge, por terem dividido comigo desde o início o sonho da engenharia e por todas as brigas que eu tive de intervir. Agradeço também por suas contribuições diretas na realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Fabio Soares, por toda sua contribuição profissional confiada a mim durante todo o curso, e por me proporcionar experiências edificantes durante a extensão, sendo de grande valor pessoal e profissional para mim.

A Prof. Aline pelo conhecimento transmitido a respeito dos geossintéticos e por sempre confiar no meu potencial. Agradeço também por sempre travar conversas e discussões enriquecedoras para a vida profissional e pessoal, sempre valorizando o aluno e indivíduo.

Ao Prof. Paulo Germano pela disponibilidade de participar desta banca. Agradeço também a todos os demais professores e membros da comunidade acadêmica da UFPB por contribuírem para o meu desenvolvimento profissional.

Por fim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Com a incidência de edificações localizadas em áreas de risco em taludes instáveis há o agravamento da possibilidade de ocorrência de deslizamentos devido algumas ações antrópicas que potencializam estes movimentos de massa. Existem diversos tipos de movimento de massa, entretanto a grande parte desses desastres acontecem devido a incidência de agentes externos ao maciço de solo, como por exemplo água da chuva, sobrecarga de edificações, entre outros. Com o intuito de proporcionar a estabilização das encostas, para que aumente a segurança da população de determinada localidade, existem diversos sistemas de contenção que empregam diferentes materiais e com isso envolvem custos diferentes. Uma das soluções que pode ser utilizada na contenção de taludes é a aplicação de geossintéticos, o qual é um material polimérico produzido industrialmente com a função de melhorar ou substituir materiais convencionais, devido a sua grande aplicabilidade frente as diferentes solicitações. A alternativa de contenção utilizando geossintéticos é entendida como solo reforçado, visto que este é inserido no solo proporcionando incremento na resistência a tração do maciço, sendo este sistema bastante atrativo devido a fácil instalação, baixo custo, rápida execução, entre outros. Sendo assim, o presente trabalho propõe a execução de uma contenção em solo reforçado com geogrelha para o talude da BR 230 – Km 19 na cidade de João Pessoa, no qual ao longo dos anos tem ocorrido diversos escorregamentos, especialmente em épocas de grande intensidade pluviométrica, tendo em vista proporcionar a estabilidade do talude, bem como o controle de erosão superficial. Para tanto foi realizado o pré-dimensionamento da contenção considerando a análise da estabilidade interna e externa, sendo comprovado o incremento de resistência avaliado pelo Fator de Segurança através da utilização do software GeoSlope. Tendo o dimensionamento básico da solução, foi elaborado o seu orçamento preliminar, de maneira a obter parâmetros de viabilidade de execução quando comparado com os custos de alternativas de contenção, previamente estudados para a mesma localidade. As soluções propostas anteriormente, por Almeida (2016), na forma de cortina atirantada e solo grampeado, as quais tiveram os seus orçamentos atualizados para os dias atuais através de índices de reajustamento formulados pelo DNIT, visto que alguns itens que compõe o orçamento original não existem mais nas plataformas de consulta de preços unitários. Sendo assim, pôde-se fazer a análise comparativa entre o custo de execução de cada obra, tendo concluído que o valor da solução em solo reforçado é inferior ao solo grampeado, além disso, estas duas alternativas bem inferiores ao custo da solução em cortina atirantada.

Palavras chaves: estabilidade de talude, geossintético, solo reforçado, custo.

ABSTRACT

With the incidence of buildings located in risk areas in unstable slopes, there is an aggravation of the possibility of landslides due to some anthropic actions that potentiate these mass movements. There are several types of mass movement, however most of these disasters happen due to the incidence of agents outside the soil massif, such as rainwater, building overloads, among others. In order to provide the stabilization of the slopes, in order to increase the safety of the population of a given locality, there are several containment systems that employ different materials and thus involve different costs. One of the solutions that can be used in slope containment is the application of geosynthetics, which is an industrially produced polymeric material with the function of improving or replacing conventional materials, due to its great applicability in the face of different demands. The containment alternative using geosynthetics is understood as reinforced soil, as it is inserted into the soil providing increase in the tensile strength of the massif, and this system is very attractive due to its easy installation, low cost, fast execution, among others. Thus, the present work proposes the execution of a geogrid reinforced soil containment for the slope of BR 230 - Km 19 in the city of João Pessoa, in which over the years there have been several landslides, especially in times of heavy rainfall. In order to provide slope stability as well as surface erosion control. For this purpose, the pre-dimensioning of the containment was performed considering the analysis of internal and external stability, proving the increase of resistance evaluated by the Safety Factor using GeoSlope software. Having the basic dimensioning of the solution, it was prepared its preliminary budget, in order to obtain parameters of execution feasibility when compared with the costs of containment alternatives, previously studied for the same location. The solutions previously proposed by Almeida (2016) were thrown in curtain and stapled soil, which had their budgets updated to the present day through readjustment indices formulated by DNIT, since some items that make up the original budget no longer exist in unit price consultation platforms. Thus, it was possible to make the comparative analysis between the cost of execution of each work, having concluded that the value of the solution in reinforced soil is lower than the stapled soil, besides, these two alternatives are much lower than the cost of the tossed curtain solution.

Keywords: slope stability, geosynthetic, reinforced soil, cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de queda de rochas	19
Figura 2 - Esquema do tombamento de rochas	19
Figura 3 - Esquema de deslizamento translacional (a) e rotacional (b).....	20
Figura 4 - Esquema da expansão lateral	20
Figura 5 - Esquema do rastejo	21
Figura 6 - Esquema dos tipos de erosão hídrica	24
Figura 7 - Contabilização do número de vítimas fatais no Brasil desde 1988 até 2017.....	26
Figura 8 - Número de deslizamentos na cidade de João Pessoa de 2008 a 2018	26
Figura 9 - Mapa da ocorrência de erosão no perímetro urbano nos anos de 2003 a 2008	27
Figura 10 - Municípios atingidos em sua área urbana por processo erosivo acelerado nos anos de 2008 a 2013.....	28
Figura 11 - Geotêxtil tecido (a) e não tecido (b)	30
Figura 12 - Geogrelha.....	30
Figura 13 - Geocélula	31
Figura 14 - Georrede.....	31
Figura 15 - Geomanta temporária (a) e permanente (b)	31
Figura 16 - Tubo dreno	32
Figura 17 - Barreira geossintética (geomembrana)	32
Figura 18 - Geocomposto (drenante).....	33
Figura 19 - Esquema de geossintético na função de separação.....	33
Figura 20 - Esquema de geossintético na função de reforço	34
Figura 21 - Esquema de geossintético na função de proteção.....	34
Figura 22 - Esquema de geossintético na função de filtração	35
Figura 23 - Esquema de geossintético na função de drenagem.....	35
Figura 24 - Esquema de geossintético na função de barreira	35
Figura 25 Esquema de geossintético na função de controle de erosão superficial.....	36
Figura 26 - Esquema da cortina atirantada	37
Figura 27 - Esquema do solo grampeado	38
Figura 28 - Esquema de (a) muro e (b) talude íngreme em solo reforçado com geossintético	38
Figura 29 - Aterro construído em solo reforçado em João Pessoa	39
Figura 30 - Critérios para análise da estabilidade externa.....	41
Figura 31 - Distribuição das tensões verticais na base do maciço.....	43

Figura 32 - Fator de segurança mínimo para deslizamento.....	45
Figura 33 - Ábacos de dimensionamento pelo método de Jewell (1991).....	46
Figura 34 - Localização da comunidade Santa Clara	49
Figura 35 - Deslizamento no talude da BR 230 na comunidade Santa Clara em 2012.....	50
Figura 36 - Deslizamento no talude da BR 230 na comunidade Santa Clara em 2019.....	51
Figura 37 – Talude após demolição de residências em 2019	51
Figura 38 - Precipitação mensal em João Pessoa no ano de 2019.....	52
Figura 39 - Antes e depois da instalação da lona plástica	52
Figura 40 - Mapa de risco da comunidade Santa Clara.....	53
Figura 41 - Perfil do talude original	54
Figura 42 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto	55
Figura 43 - Resultado do ensaio de granulometria	55
Figura 44 - Fator de segurança para o talude natural	59
Figura 45 - Fator de segurança para o solo reforçado com geossintético.....	60
Figura 46 - Fluxograma do processo executivo do solo reforçado com geossintético.....	62
Figura 47 - Solução em cortina atirantada.....	65
Figura 48 - Solução em solo grampeado	66
Figura 49 - Comparação de custo das soluções de contenção.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de classificação de movimentos de massa (Cruden & Varnes, 1996).....	17
Tabela 2 - Resumo de classificação de movimentos de massa (Augusto Filho, 1992).....	18
Tabela 3 - Classe de fatores intervenientes da erosão hídrica (Bastos et al., 2000)	22
Tabela 4 - Função dos principais geossintéticos	36
Tabela 5 - Resumo de parâmetros do talude.....	57
Tabela 6 - Resumo dos resultados da estabilidade externa	57
Tabela 7 - Especificação da geogrelha	58
Tabela 8 - Resumo dos resultados da estabilidade interna	58
Tabela 9 - Orçamento básico da solução em solo reforçado com geossintético	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 MOVIMENTO DE MASSA.....	16
2.1.1 Classificação dos movimentos de massa.....	17
2.2 EROÇÃO	21
2.2.1 Tipos de erosão	23
2.3 HISTÓRICO DE CASOS DE MOVIMENTO DE MASSA.....	25
2.4 GEOSSINTÉTICOS	28
2.4.1 Tipos e classificação	29
2.4.2 Funções.....	33
2.5 SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO	37
2.6 DIMENSIONAMENTO DE SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO.....	40
2.6.1 Deslizamento	41
2.6.2 Tombamento.....	42
2.6.3 Ruptura do solo de fundação.....	42
2.6.4 Ruptura global.....	44
2.6.5 Estabilidade interna	45
2.7 ORÇAMENTO E CORREÇÃO	47
3 ESTUDO DE CASO: SANTA CLARA.....	48
3.1 LOCALIZAÇÃO	48
3.2 HISTÓRICO DE DESLIZAMENTOS	50
3.3 PARÂMETROS DO TALUDE	54
3.4 ORÇAMENTOS.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 SOLUÇÃO A: SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO.....	56

4.1.1 Procedimento executivo	61
4.1.2 Orçamento	63
4.2 SOLUÇÃO B: CORTINA ATIRANTADA	64
4.2.1 Orçamento	65
4.3 SOLUÇÃO C: SOLO GRAMPEADO COM FACE VEGETADA	66
4.3.1 Orçamento	67
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
6 REFERÊNCIAS	70
APÊNDICES.....	75
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

O crescimento populacional atrelado ao processo de urbanização age como fator modificante de paisagens e meio físico, de maneira a proporcionar impactos ambientais em diferentes esferas (SIMÕES e OLIVEIRA, 2014). Deste modo, é muito comum o agrupamento da população em “locais que não estavam preparados, social e ambientalmente, para receber tal população” (PEREIRA, 2017), que na maioria das vezes, se agrupam em taludes¹.

De modo geral, é muito comum a ocorrência de desastres naturais nestas regiões impróprias para ocupação, nas quais as condições ambientais são associadas a fatores geológicos, pedológicos, geomorfológicos e topográficos no favorecimento da deflagração de movimentos de massa e processos erosivos (SIMÕES e OLIVEIRA, 2014).

Sabe-se que movimentos de massa podem ser definidos como “como o movimento do material constituinte de uma encosta por efeitos da força gravitacional” (TIGA, 2013). Este fenômeno está associado a um agente deflagrador, como por exemplo, um sismo ou precipitação intensa.

Os grandes centros urbanos apresentam a ocorrência de diversos casos de movimento de massa induzidos pela ação antrópica, através de lançamento de efluentes nos taludes, cortes e aterros realizados nas encostas, retirada e plantação de árvores impróprias e a construção de moradias que causam a sobrecarga nestas superfícies (MACEDO e MARTIS, 2015).

Os movimentos de massa são considerados como os desastres que mais causam impacto, superando por vezes os terremotos, inundações ou tempestades (BRITO, WEBER, *et al.*, 2016). Dada a importância e magnitude destes eventos, faz-se necessário ter conhecimento a respeito da incidência e reincidência destes desastres em determinadas localidades.

Por este motivo, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo procurou catalogar, desde 1988, os desastres a nível nacional que ocasionaram em fatalidades, tornando possível a análise da distribuição dos recursos para prevenção de desastres para os municípios brasileiros (MACEDO e MARTIS, 2015).

De acordo com Macedo e Martins (2015), o IPT contabilizou aproximadamente 3500 óbitos causados por movimentos de massa de 1988 a abril de 2015, estando estes concentrados

¹ Talude é uma superfície inclinada que liga dois planos, composto por maciços de solo e/ou rocha que são resultados do processo de formação geológica (OLIVEIRA, 2004).

em 17 unidades federativas do Brasil. Os estados com maior concentração de acidentes foram: Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Santa Catarina, Pernambuco, Alagoas e Espírito Santo.

Diante de um número de mortes tão expressivo demonstra-se a importância de avaliar e estudar os movimentos de massa, suas causas e soluções, para que seja possível estabelecer medidas preventivas e corretivas no tocante a incidência destes desastres.

No tocante a erosão, esta se constitui como um processo natural ocasionado pelo transporte das partículas de solo, o qual, em geral, sofre grande interferência antrópica, mas também pode ser causado por fatores naturais, como ventos e chuvas, além disso, outros aspectos como solo, relevo e cobertura da área exercem influência direta neste processo (MARTINI, UBERTI, *et al.*, 2006).

Situações de infraestrutura urbana como “impermeabilização do solo e ineficiência da rede de microdrenagem alteram o ciclo hidrológico e tornam-se catalizadores do processo erosivo” (CARNERIO, FARIA e SOARES NETO, 2017). Deste modo, assim como no movimento de massa, a erosão também pode ser agravada por ações antrópicas em consequência da urbanização desordenada (TORRES, 2014).

O processo erosivo tem afetado diversas áreas da sociedade, tanto no âmbito urbano como rural., de modo a gerar “consequências não somente ambientais, mas também econômicas e sociais.” (BEZERRA NETO, 2014). Por este motivo, justifica-se a necessidade de controle destes processos por meio da engenharia.

O tratamento para estes dois fenômenos naturais apresentados anteriormente consiste em aplicação de soluções convencionais (muros, gabiões etc.) ou tecnologias alternativas, como por exemplo os geossintéticos.

Os geossintéticos são materiais poliméricos derivados do petróleo que tem como objetivo principal melhorar ou substituir materiais convencionais. Na década de 1950 surgiram as primeiras aplicações de geossintéticos como elementos de filtro em proteção antierosiva, em obras hidráulicas, na Holanda. Também nos Estados Unidos na mesma década foram empregados geossintéticos para o controle de erosão marítima na Flórida (VERTEMATTI, 2015).

Já na década de 1970 iniciaram as aplicações de geossintéticos na função de reforço, devido o advento do desenvolvimento de geogrelhas, bem como o desenvolvimento de outros geossintéticos (VERTEMATTI, 2015). Desde então, os geossintéticos vem sendo largamente estudados, de maneira a proporcionar a utilização destes materiais em suas mais diversas funções, aplicações e obras.

A crescente utilização do geossintético em grandes obras de infraestrutura justifica-se por suas vantagens frente aos materiais convencionais, visto que sua possibilidade de conferir maior capacidade de suporte, menor impacto ambiental, menor tempo de obra, menores custos (VERTEMATTI, 2015).

Tem-se conhecimento de que muitas vezes o posicionamento de órgãos públicos é de apresentar ações após o acontecimento de algum evento catastrófico, empregando a maior parcela do recurso em obras corretivas, restando poucos investimentos a serem empregados na prevenção destes acontecimentos (OLIVEIRA, 2004).

Neste sentido, corrobora-se a necessidade de execução do presente trabalho com o intuito de fornecer informações e subsídios que embase a utilização de materiais geossintéticos para a estabilização de encostas como solução de baixo custo, prevenindo assim a ocorrência de desastres.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é apresentar o geossintético como solução de baixo custo a ser empregada para estabilização de taludes em áreas de risco, através da comparação de custos do solo reforçado com geossintético, também conhecido como solo envelopado, e de soluções convencionais, como cortina atirantada e solo grampeado com face vegetada em um talude na cidade de João Pessoa, na BR 230 Km 19 no Castelo Branco.

A fim de alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos:

- a) Apresentar os problemas gerados na decorrência de desastres ambientais: movimento de massa e erosão;
- b) Apresentar estudo de caso de ocorrência de movimento de massa na cidade de João Pessoa;
- c) Apresentar dimensionamento básico, a título de solução, do solo reforçado com geossintético;
- d) Verificação da estabilidade da solução empregada com geossintético;
- e) Elaboração do orçamento estimado da solução com geossintético;
- f) Comparação de custos entre a solução com geossintéticos e a cortina atirantada e solo grampeado com face vegetada.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado em cinco capítulos. No capítulo atual, foi apresentada uma visão geral a respeito das problemáticas de movimentos de massa e processos erosivos, bem como a contextualização das soluções com geossintéticos.

O capítulo segundo estabelece a fundamentação teórica da pesquisa, ao trazer os conceitos importantes sobre movimento de massa, estabilidade de taludes, processos erosivos e geossintéticos, orçamentos.

No capítulo terceiro será apresentado o caso de movimento de massa na cidade de João Pessoa, com localização, os parâmetros geométricos e geotécnicos do taludes, além disso são feitas considerações acerca do orçamento.

O capítulo quarto compreende a análise da estabilidade e orçamento da solução que emprega o solo reforçado, bem como a apresentação das demais soluções convencionais propostas para a mesma localidade e por fim, retrata a comparação dos custos entre as alternativas.

No capítulo quinto apresenta-se a conclusão do presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento dos grandes centros urbanos não tem sido acompanhado pelo lançamento e implantação de políticas públicas que favorecessem a regularização do uso e ocupação destes centros, fazendo com que parte da população instale-se em áreas consideradas impróprias para ocupação, como é o caso dos taludes (PEREIRA, 2017).

Os taludes são caracterizados por uma superfície inclinada de uma maciço de solo ou de rocha, podendo ser natural, quando é intitulado de encostas, ou artificial, para as situações de corte e aterro (GERSCOVICH, 2016).

Em consequência do crescimento da população que mora nestas localidades houve o aumento dos casos de desastres naturais que envolvem os taludes (TORRES, 2014). Ao longo dos anos o processo de interação entre a sociedade e a natureza tem provocado diversas alterações na constituição do relevo. A participação de processos naturais pode ser caracterizada por sismos ou intemperismo, que quando associados ou não a fatores antrópicos, podem resultar em desestabilização dos taludes e conseqüentemente ocorrem desastres naturais (TIGA, 2013), como por exemplo movimentos de massa e/ou erosão.

2.1 MOVIMENTO DE MASSA

Cruden (1991) define o movimento de massa como sendo o movimento em massa de solo e rocha sob a influência da força gravitacional em uma encosta. Gerscovich (2016) também afirma que “entende-se como movimento de massa qualquer deslocamento de um determinado volume de solo”.

Para estes processos de movimento de massa existem diversas causas e mecanismos deflagradores, os quais podem ser divididos em agente predisponentes e efetivos. O primeiro está relacionado as capacidades e características físicas do solo, já o segundo ainda recebe uma subdivisão em preparatórios, aqueles que modificam progressivamente o relevo, e os imediatos que são responsáveis pela deflagração do rompimento (SILVA, 2018).

Sabe-se que os agentes antrópicos têm grande influência na deflagração de movimentos, através da remoção da cobertura vegetal, lançamento de efluentes nos taludes, execução ineficiente de aterros, acúmulo de lixo sobre as encostas, entre outros. Todos esses fatores são agravados pela ocupação desordenada das áreas de taludes, causando sobrecarga das edificações, além das intervenções realizadas para a construção das habitações (SILVA, 2018).

Dada esta definição geral, tem-se que existem diversos tipos de movimento de massa, nas suas mais diversas constituições, gerando diferentes classificações de acordo com a velocidade, causas, formas, tipo, natureza do material deslizante, entre outros (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

2.1.1 Classificação dos movimentos de massa

Há na literatura diversas classificações dos movimentos de massa que se baseiam em diversos fatores, nas quais a maioria se fundamenta nas condições climáticas locais e geológicas (GERSCOVICH, 2016).

De acordo com Tiga (2013) as classificações mais amplamente aceitas pela comunidade científica é a de Varnes (1958, 1978) e a de Hutchinson (1968, 1988). Varnes, em 1978, classifica os movimentos de acordo com o tipo de movimento e o tipo de material, gerando 5 (cinco) categorias de movimento de massa: queda, tombamento, deslizamento, espalhamento e corrida, escoamento ou fluxo (TIGA, 2013). Entretanto, existe a possibilidade de ocorrer estes eventos combinando mais de um tipo de movimento e/ou diferentes tipos de material (TIGA, 2013).

Cruden e Varnes (1996) fizeram alterações na classificação anterior com o intuito de abranger diferentes tipos de movimento que não eram contemplados. Deste modo, passou-se a levar em consideração no momento da classificação o conteúdo de água e a velocidade do movimento, além do critério anterior de tipo de material. Sendo assim, o aprimoramento resultou nas mesmas 5 (cinco) classificações anteriores, mas com especificações mais completas como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo de classificação de movimentos de massa (Cruden & Varnes, 1996)

Descrição do primeiro movimento			
Tipo	Material	Conteúdo de água	Velocidade
<ul style="list-style-type: none"> • Quedas • Tombamentos • Deslizamentos ou escorregamentos • Expansão lateral • Fluxos, corridas ou escoamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rocha • Solo: terra ou detritos 	<ul style="list-style-type: none"> • Seco (sólido) • Úmido (plástico) • Molhado (líquido) • Muito molhado (líquido) 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremamente rápido (>3m/s) • Muito rápido (3m/s-0,3m/min) • Rápido (0.3m/min-1.5m/dia) • Moderado (1.5m/dia-1.5m/mês) • Lenta (1.5m/mês-1.5m/ano) • Muito Lenta (1.5m/ano-60mm/ano) • Extremadamente Lenta (<60mm/ano)

Fonte: Adaptado Tiga (2013)

Em 1992, Augusto Filho adaptou a classificação de Varnes (1978) para a dinâmica dos processos do Brasil, deste modo foram determinados 4 (quatro) grupos: rastejo, escorregamento, queda e corrida, os quais podem ser observados na Tabela 2, com suas respectivas características.

Tabela 2 - Resumo de classificação de movimentos de massa (Augusto Filho, 1992)

Processo	Características do movimento, material e geometria
Rastejo	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; • Geometria indefinida
Escorregamento	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos); • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s); • Pequenos a grandes volumes de material; • Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> ○ Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; ○ Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas ○ Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Queda	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento; • Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; • Velocidades muito altas (vários m/s); • Material rochoso; • Pequenos a médios volumes; • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. <p>Rolamento de matacão Tombamento</p>
Corrida	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento; • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; • Desenvolvimento ao longo das drenagens; • Velocidades médias a altas; • Mobilização de solo, rocha, detritos e água; • Grandes volumes de material; • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Adaptado Gerscovich (2016)

Para o presente trabalho será considerada a classificação de Cruden e Varnes (1996), visto que esta se trata de uma classificação internacional e mais utilizada cientificamente.

Ainda que os processos erosivos sejam considerados como movimentos de massa em taludes, estes não estão incluídos nas classificações, dada as suas características e os danos que podem ser gerados. Além disso, os agentes deflagradores das erosões podem ser os mais distintos e por isso merecem um estudo particular (GERSCOVICH, 2016).

a) Quedas

Quedas são movimentos de massa rápidos, que se dão com o desprendimento de blocos de rochas ou de solo de encostas, sem que exista uma superfície de deslizamento, mas sim um plano de fratura, como pode-se notar na Figura 1. Estes blocos caem sob a ação da gravidade, e dependendo da altura e composição do talude podem se quebrar ao ir de encontro com o solo, ou podem repicar e rolar até que encontrem uma superfície mais plana (TIGA, 2013).

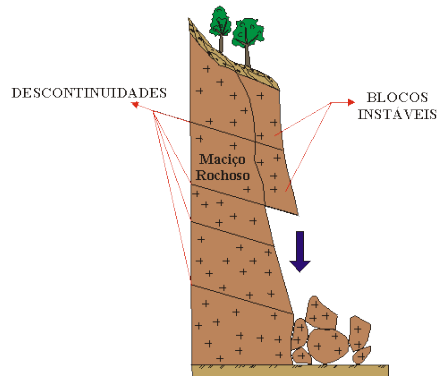


Figura 1 - Esquema de queda de rochas

Fonte: Torres (2014)

b) Tombamentos

O tombamento consiste no movimento rotacional de um maciço rochoso (Figura 2), geralmente em torno de um eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa deslocada (TIGA, 2013). Este tipo de movimento pode ser causado pela ação da gravidade, por empuxo de maciços adjacentes, ou pela existência de água nas fraturas que ocasionam o desgaste da rocha ao longo dos anos e conseqüentemente o desprendimento dos blocos (TORRES, 2014).

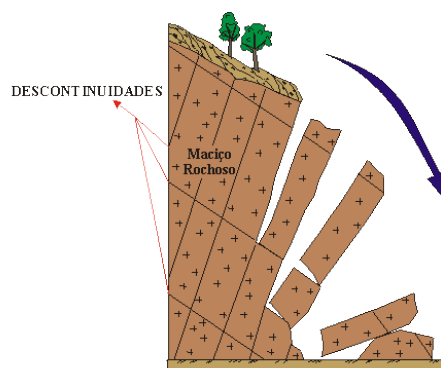


Figura 2 - Esquema do tombamento de rochas

Fonte: Torres (2014)

c) Deslizamentos ou escorregamentos

Deslizamento ou escorregamento consiste no movimento “descendente de uma massa de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de uma superfície de falha ou de uma delgada zona de deformação e de cisalhamento intenso” (TIGA, 2013).

Este tipo de movimento, de acordo com a classificação de Cruden & Varnes (1996), pode ser dividido em dois: translacional e rotacional (Figura 3). O primeiro é comum em camadas de solo pouco espessas, e que o plano de fraqueza é apresentado geralmente no limiar entre duas composições de solo diferente. O movimento rotacional geralmente ocorre em solos de camadas mais espessas, como é o caso do solo residual (TORRES, 2014).

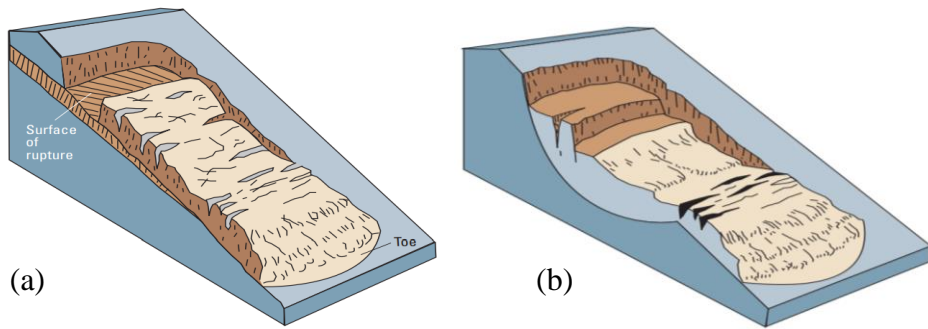


Figura 3 - Esquema de deslizamento translacional (a) e rotacional (b)

Fonte: Highland & Bobrowsky (2008)

d) Expansão lateral

A expansão lateral ou espalhamento comumente ocorre por deformação interna do material, incidente em solos coesivos ou na subsidência de um material mais macio subjacente. Este tipo de movimento pode ocorrer pela liquefação do material mais mole, de modo a perder a estabilidade do compósito (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). A representação gráfica deste movimento é apresentada na Figura 4.

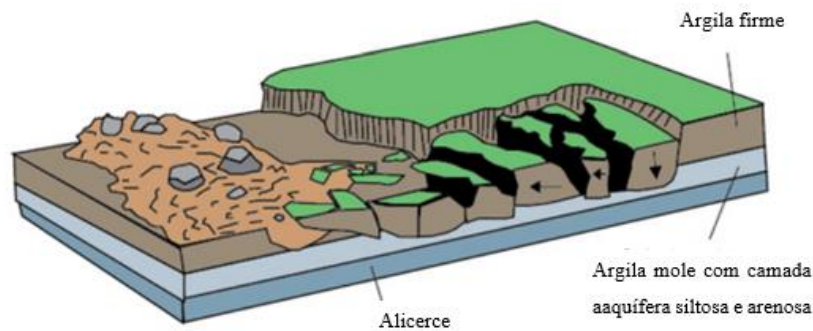


Figura 4 - Esquema da expansão lateral

Fonte: Adaptado Highland & Bobrowsky (2008)

e) Fluxo ou escoamento

O fluxo trata-se de um movimento de massa para o qual o material deslizante assemelha-se a um fluido viscoso (GERSCOVICH, 2016). Muitas vezes, o fluxo e o escorregamento assemelham-se, entretanto, há uma variação no conteúdo de água, mobilidade e evolução do movimento (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). Basicamente, o fluxo divide-se em duas categorias: rastejo e corrida.

O rastejo (Figura 5) caracteriza-se por ser um movimento de velocidade muito baixa, o qual por vezes o deslocamento superficial pode ser imperceptível. Este tipo de movimento pode ser identificado por inclinação em árvores, postes e muros tortos, ondulação no solo, rachaduras em alvenarias etc. (TORRES, 2014).

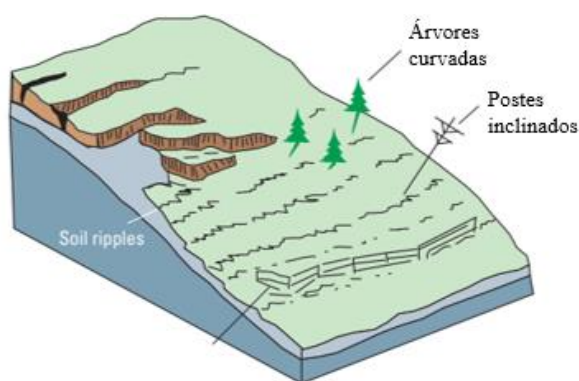


Figura 5 - Esquema do rastejo

Fonte: Adaptado Highland & Bobrowsky (2008)

No caso da corrida, ao contrário do rastejo, este constitui em movimento muito rápido com grande volume de material mobilizado. Muitas das vezes ocorrem corrida de detritos, nos quais não há coesão e conseqüentemente produzem maiores desastres com a sua ocorrência, devido a sua capacidade de arrasto de material subjacente.

2.2 EROSÃO

Dadas as suas peculiaridades, a erosão não é enquadrada na classificação de movimento de massa apresentada anteriormente, entretanto tem-se o entendimento de que a erosão consiste no movimento de partículas de solo, transportadas por um agente.

O processo erosivo pode ser definido como a desagregação, transporte e deposição de partículas de solos e rochas (BEZERRA NETO, 2014). A erosão pode ser conceituada como natural ou geológica quando o desgaste ocorre por fatores naturais, como água, gelo, em

condições ambientais normais, sem que haja perturbações induzidas no processo, de modo a ser considerado em equilíbrio (TORRES, 2014).

Assim como no movimento de massa, a ação antrópica age para deflagração dos processos erosivos, de maneira que pode promover o aumento da sua intensidade (BEZERRA NETO, 2014). De modo que “a expansão urbana vem provocando um desequilíbrio ambiental através do desmatamento” (TORRES, 2014). As situações em que o homem exerce influência no processo erosivo, este pode ser classificado como erosão acelerada, visto que ocorre o desequilíbrio, entre a remoção e formação de novo solo (TORRES, 2014).

Existem classificações de acordo com o agente deflagrador do processo erosivo, como é o caso da classificação elaborada por Carvalho et al. (2006), na qual determina 4 (quatro) categorias: hídrica, eólica, glacial e organogênica.

De acordo com Bandeira (2003), a erosão hídrica subdivide-se em: costeira, fluvial e pluvial. A erosão costeira se refere ao avanço da linha da costa em direção ao continente, no caso da erosão fluvial é aquela acometida nos rios e suas margens e a erosão pluvial diz respeito ao processo efetuado pela água da chuva (BANDEIRA, 2003).

De acordo com Guerra, Silva e Botelho (2009) nos ambientes tropicais é mais incidente a ocorrência de erosão hídrica, a qual o processo de desagregação e transporte das partículas de solo é realizado a partir da ação da água da chuva, onde os índices “pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta” (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2009). Sendo assim, dado o conceito de que o Brasil é considerado um país tropical, será dado enfoque no presente trabalho a erosão hídrica.

Ainda assim, existem forças que atuam neste processo de maneira a intensificar ou modificar o processo erosivo, os quais podem ser vistos no Tabela 3.

Tabela 3 - Classe de fatores intervenientes da erosão hídrica (Bastos et al., 2000)

Classe	Fatores
Fatores climáticos	Chuva Temperatura Radiação solar Vento
Fatores topográficos	Declividade Comprimento de rampa
Fator vegetação	Cobertura vegetal
Fator solo	Erodibilidade do solo

Fonte: Adaptado Bezerra Neto (2014)

No caso dos fatores climáticos, o que apresenta mais significância na deflagração de processos erosivos é a chuva, para a qual deve-se levar em consideração o índice pluviométrico (BEZERRA NETO, 2014).

No tocante aos fatores topográficos, tem-se que estes irão influenciar no desenvolvimento do processo, visto que declividade e comprimento de rampa podem modificar o desenvolvimento da erosão, alterando a velocidade de escoamento e conseqüentemente o impacto causado durante o processo (BEZERRA NETO, 2014).

Com relação a cobertura vegetal, tem-se que esta é benéfica no que diz respeito a diminuição da energia com a qual as gotas da chuva incidem sob o solo, de maneira a retardar ou atenuar a quantidade de água que irá penetrar no solo, e como resultado ameniza a erosão como um todo (BANDEIRA, 2003).

O fator solo traz a característica física do material, ou seja, sua capacidade de resistir a erosão, deste modo são determinadas a velocidade de infiltração do solo, bem como a sua resistência à erosão (BEZERRA NETO, 2014).

A erosão hídrica tem como principal agente deflagrador a água da chuva, para a qual tem dois princípios de atuação: a energia da gota da chuva e o transporte de material (BEZERRA NETO, 2014).

O processo erosivo inicia com a gota da chuva que incide sobre a face do talude, de modo a quebrar as partículas de agregado e transportá-lo através do salpicamento. Com isso, as partículas de solo fazem uma espécie de selagem na face do talude, preenchendo os poros, o que propicia a diminuição da porosidade da encosta e conseqüentemente aumenta o escoamento da água (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2009).

2.2.1 Tipos de erosão

Tem-se conhecimento que a erosão hídrica é, comumente, dividida em: superficial, interna e linear (sulco, ravina e voçoroca), de acordo com o seu estágio de evolução (BRITO, 2012).

A erosão superficial, pode ser definida como aquela ocasionada pelo escoamento da água que não pôde infiltrar no solo, ou seja, quando a intensidade de chuva supera a capacidade de infiltração do solo (BEZERRA NETO, 2014). Este tipo de erosão está associado ao transporte das partículas de solo que desagregaram com a força do impacto da gotícula de chuva, ou aquelas arrastadas pela força de interação entre a água e o solo (BRITO, 2012).

Pode-se também mencionar que a erosão superficial ocorre em lugares que existam poucos obstáculos em sua extensão, de modo a permitir o escoamento da água, sendo assim, um tipo de processo erosivo muito presente em regiões semiáridas, de modo a ser identificado

pela presença de raízes de plantas expostas ou o aparecimento de algum elemento que anteriormente encontrava-se enterrado (BANDEIRA, 2003).

A erosão interna ou *piping* é caracterizada pela existência de canais internos ao maciço de solo que surgem a partir da face do talude ou encosta, através do carreamento de partículas de solo (BEZERRA NETO, 2014).

No tocante a erosão linear, tem-se que esta é formada a partir do “fluxo convergente da água ao longo das vertentes em conjunto com a densidade e velocidade do escoamento” (TORRES, 2014), ou seja, a erosão linear é dada como a concentração do fluxo de água em dada localidade.

Deste modo, a água começa a acumular nestes canais formados, de maneira a aumentar o processo erosivo devido a energia cinética causada pelo volume e velocidade de transporte da água canalizada (BANDEIRA, 2003). Sendo assim, são formadas três formas erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas.

O sulco consiste em canais que abrigam linhas de fluxo de água, que podem ser causados por chuvas de grande intensidade em terrenos de alta declividade, sendo possível o seu aprofundamento e transformação em ravinas posteriormente (TORRES, 2014).

Na Figura 6, pode-se notar, basicamente, o comportamento das erosões, salientando o fato de que as ravinas consistem em sulcos com maior profundidade, para a qual Bandeira (2003) afirma que consistem em 50 cm de largura e profundidade.

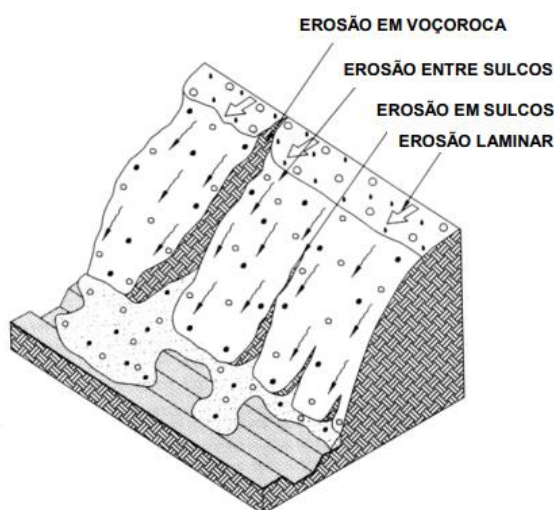


Figura 6 - Esquema dos tipos de erosão hídrica

Fonte: Bandeira (2003)

Por se tratar de um processo evolutivo, as ravinas podem ocasionar em voçorocas, as quais consistem em canais com profundidade que atingem o lençol freático, devido a localidade não apresentar cobertura vegetal suficiente, facilitando o processo erosivo ocasionado pela

velocidade de enxurrada (TORRES, 2014). Este tipo de erosão (voçoroca) também pode ser agravado pela existência de erosão interna, visto que este último forma tubos internos ao solo, possibilitando o colapso do maciço e conseqüentemente o aumento das voçorocas (BANDEIRA, 2003).

2.3 HISTÓRICO DE CASOS DE MOVIMENTO DE MASSA

Tem-se conhecimento de que é muito frequente a ocorrência de movimentos de massa e/ou casos de erosão, isto porque progressivamente as massas de solo vem sendo modificadas devido a dinâmica de evolução das encostas, o que favorece espessuras de camadas que são consideradas críticas para a estabilidade (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

Mesmo sendo numerosa a quantidade de desastres que envolvem deslizamentos, tem-se conhecimento que o número de casos reais é muito aquém do divulgado na mídia, visto que as situações que são expostas dizem respeito àquelas nas quais houveram vítimas ou que ocorreram em localidades que apresentam algum tipo de interação com a sociedade, principalmente dada a sensibilidade dessas regiões (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

De acordo com Silva (2018), os escorregamentos, de modo geral, são os desastres geológicos que causam mais mortes no Brasil. Neste sentido foram feitas pesquisas de contabilização de mortes ao longo dos anos a nível nacional, iniciado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) em 1988. Esta pesquisa, a princípio tinha como fonte de informação primária as matérias da mídia impressa, e posteriormente ao advento da internet, esta tipologia de pesquisa teve sua execução facilitada. (MACEDO e MARTIS, 2015).

Em 2017, dado mais recente, o IPT divulgou a contabilização do número de vítimas fatais deste tipo de desastre em âmbito nacional, especialmente os deslizamentos, de maneira a totalizar 3458 vítimas de janeiro de 1988 até janeiro de 2017, demonstrado através da Figura 7. No gráfico elaborado pelo IPT pode-se notar que no ano de 2011 há um pico no número de vítimas, o qual pode ser justificado pelos acidentes que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro que teve repercussão nacional (IPT, 2017).

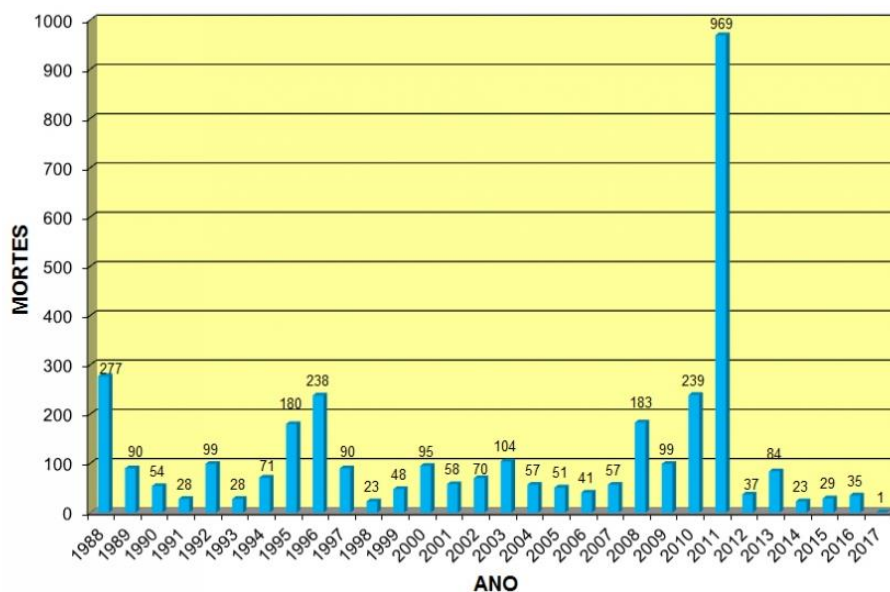


Figura 7 - Contabilização do número de vítimas fatais no Brasil desde 1988 até 2017

Fonte: IPT (2017)

Esta pesquisa realizada pelo IPT, auxilia na gestão das políticas públicas, visto que fornece subsídios para o Ministério das Cidades, por exemplo, no tocante a distribuição dos recursos a serem destinados no controle de situações de risco nos municípios. Desta forma, pôde-se ilustrar a gravidade do problema sob a esfera nacional.

Em relação ao município de João Pessoa, tem-se que este, ao longo dos anos, apresentou um declínio no número de casos de deslizamentos (Figura 8), devido a implantação de um projeto por parte da prefeitura, no ano de 2013. Este projeto consiste em ações realizadas nas áreas consideradas com risco de deslizamento na cidade, como por exemplo desobstrução de canaletas de drenagem, poda de árvores, demolição de edificações, assistência social as famílias que habitam nestas situações, entre outros.



Figura 8 - Número de deslizamentos na cidade de João Pessoa de 2008 a 2018

Fonte: Silva (2018)

Apesar de ter diminuído o número de situações de deslizamento, sabe-se que ainda trata de um montante bastante elevado e que por este motivo, faz-se tão importante o conhecimento e estudo a respeito destes desastres.

Em relação as situações de erosão, tem-se que estas são bastante frequentes no país, principalmente devido a associação de condicionantes naturais a fatores antrópicos (BRITO, 2012). Por este motivo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) avalia a ocorrência desses desastres ao longo dos anos, na Figura 9 é possível observar os municípios que são atingidos pela erosão laminar no perímetro urbano nos anos de 2003 a 2008, sem que estivessem disponíveis dados mais recentes.

Logo mais abaixo encontra-se a Figura 10, a qual trata a respeito de municípios brasileiros atingidos por processos erosivos acelerados em sua área urbana referente aos anos de 2008 a 2013. Nas duas ferramentas de apresentação de dados, pode-se constatar que a região sudeste apresenta a maior incidência de processos erosivos, tal fato pode ser justificado pelo alto índice pluviométrico e populacional desta região, elevado número de situações de ações antrópicas, a constituição do relevo da região, entre outros fatores.



Figura 9 - Mapa da ocorrência de erosão no perímetro urbano nos anos de 2003 a 2008

Fonte: (IBGE)

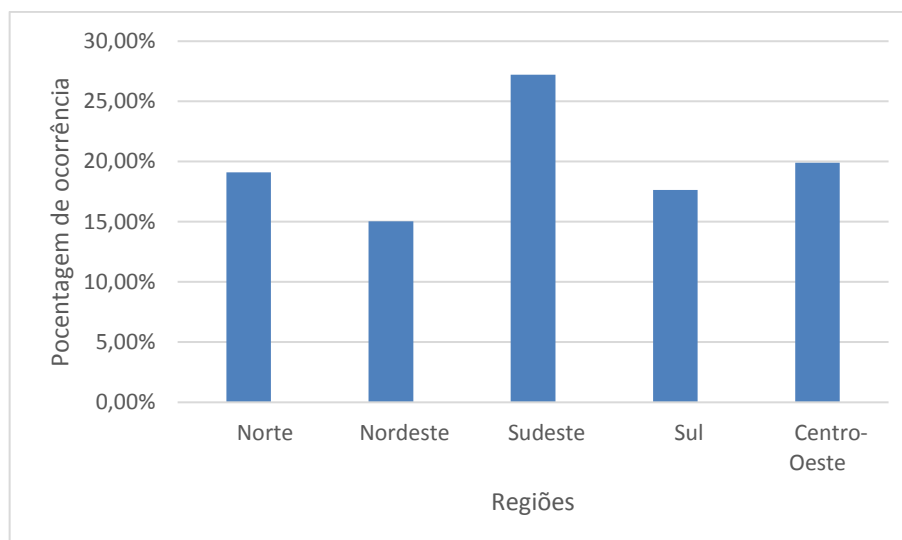


Figura 10 - Municípios atingidos em sua área urbana por processo erosivo acelerado nos anos de 2008 a 2013

Fonte: Adaptado (IBGE)

De posse destas informações destaca-se a importância da realização de estudos acerca destes eventos, com o intuito de estabelecer parâmetros que subsidiem ações preventivas, minimizando assim o risco envolvido nestes eventos.

2.4 GEOSSINTÉTICOS

Tem-se conhecimento a respeito da dificuldade de lidar com solos, nas suas mais diferentes classificações e características. Neste sentido a engenharia moderna encontra um entrave na busca de materiais que apresentem qualidade superior, por serem de difícil acesso ou por possuir custo de aquisição elevado (VERTEMATTI, 2015)

A partir desta problemática surgiram os materiais geossintéticos, os quais desempenham “um papel fundamental, substituindo ou aprimorando técnicas existentes, permitindo associações e combinações com solos e agregados, resultando em soluções mais rápidas, mais leves, mais esbeltas, mais confiáveis e mais econômicas.” (VERTEMATTI, 2015).

De acordo com Vertematti (2015), a técnica de melhorar a capacidade do solo pela inserção de um material, natural por exemplo, data de 3000 a.C. em diversas obras, podendo-se citar a Grande Muralha da China. Muito tempo depois, após o advento da “indústria petroquímica e a consequente disseminação dos produtos plásticos pós a segunda guerra mundial” (MELO, 2016) deu-se início a produção do que posteriormente seria conhecido como geossintético.

Desde a década de 1950 o geossintético vem sendo utilizado na engenharia internacional, entretanto este material passou a ter destaque no Brasil na década de 70 com sua primeira aplicação em obras rodoviárias, e apenas na década seguinte iniciou-se a produção deste material no Brasil (VERTEMATTI, 2015).

Sendo assim, pode-se definir geossintético como o “Termo genérico designando um produto no qual ao menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, se apresentado na forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil” (ABNT, 2018).

De forma resumida, pode-se entender que o geossintético é um material a ser utilizado na melhoria ou substituição de um material natural e por este motivo, apresenta-se de forma bastante competitiva no mercado, frente aos produtos convencionais.

Também se tem conhecimento a respeito das inúmeras vantagens dos geossintéticos em detrimento dos materiais convencionais. Inicialmente, tendo em vista que se trata de um material manufaturado produzido industrialmente existe um controle de qualidade rigoroso sobre o produto, fazendo com que o material empregado atenda as especificações e necessidades de cada empreendimento. Além disso, pode-se atestar outros benefícios, como por exemplo, a redução do impacto ambiental causado pela não exploração de jazidas naturais para a execução de grandes obras geotécnicas; a facilidade de execução por dispensar mão obra específica para sua instalação, bem como o uso de equipamentos complexos ou onerosos; redução do tempo de obra; redução dos custos do empreendimento como um todo; entre outros (VERTEMATTI, 2015).

2.4.1 Tipos e classificação

A cada dia são desenvolvidos novos geossintéticos fazendo com que exista uma diversidade de materiais a serem definidos e classificados. As definições apresentadas estão de acordo com a NBR ISO 10318.

a) Geotêxtil

O geotêxtil (Figura 11) é o material têxtil plano, permeável fabricado com polímero natural ou sintético, utilizado em contato com o solo ou outros materiais em aplicação de engenharia geotécnica e civil. Este tipo de geossintético é encontrado no mercado em três

tipologias diferentes: tecido, não tecido ou tricotado, sendo a aplicação responsável por indicar qual o tipo adequado.

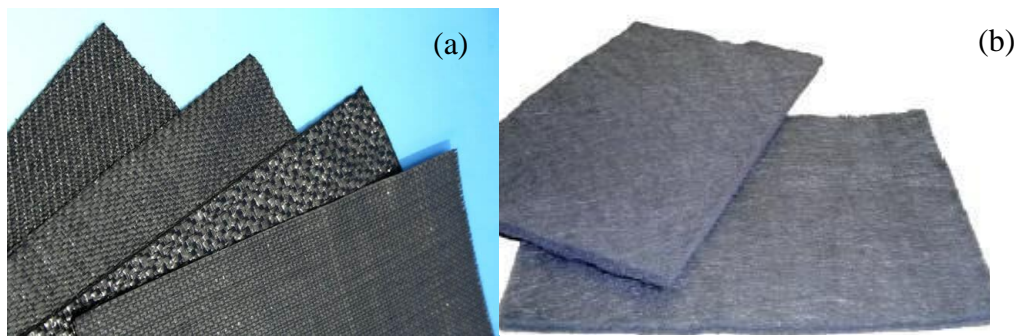


Figura 11 - Geotêxtil tecido (a) e não tecido (b)

Fonte: NTCBrasil (2019) e LFAmbiental (2019)

b) Geogrelhas

As geogrelhas (Figura 12) são produtos com estrutura em forma de grelha, cujas aberturas permitem a interação com o meio em que estão confinadas. É considerada unidirecional, quando apresenta elevada resistência a tração apenas em uma direção e bidirecional, ser apresentar elevada resistência a tração nas duas direções principais (ortogonais). Em função do processo de fabricação, as geogrelhas podem se extrudadas, soldadas ou tecidas.



Figura 12 - Geogrelha

Fonte: Huesker

c) Geocélulas

As geocélulas (Figura 13) são produtos poliméricos com estrutura tridimensional aberta, constituídos de células interligadas que confinam mecanicamente os materiais nelas inseridos, solo ou concreto, podendo ser produzidas a partir de tiras ligadas entre si.



Figura 13 - Geocélula

Fonte: Inovageo

d) Georrede

A gerrede (Figura 14) é um geossintético constituída por conjuntos de elementos que se conectam uns aos outros de forma ortogonal. Devido à alta porosidade ao longo do plano, é bastante utilizado para conduzir altas vazões de líquidos ou gases (IGS, 2019).



Figura 14 - Georrede

Fonte: Geofoco

e) Geomantas

A geomanta é uma estrutura tridimensional permeável constituída de monofilamentos poliméricos e/ou outros elementos, sintéticos ou naturais, interligados por meio mecânico e/ou térmico, e/ou químico. No caso da utilização de fibras naturais, este material é intitulado como biomantas, devido à sua capacidade de decomposição e por isso é considerada temporária.

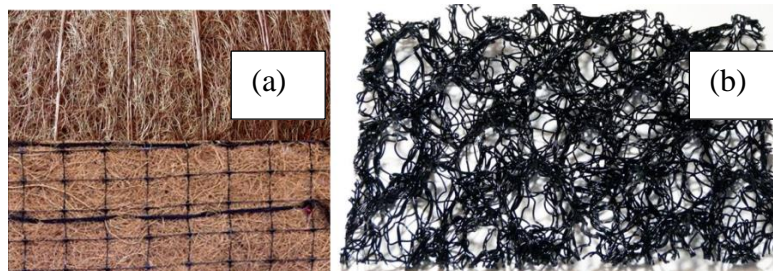


Figura 15 - Geomanta temporária (a) e permanente (b)

f) Tubo dreno

O tubo polimérico pode ser perfurado ou ranhurado, liso ou corrugado, rígido ou flexível, que devido as suas características pode ser aplicado em substituição aos materiais convencionais como elemento drenante e/ou condutor. Este geossintético é comumente conhecido como geotubo (Figura 16).



Figura 16 - Tubo dreno

Fonte: Geofoco

g) Barreira geossintética

A barreira geossintética é um produto bidimensional, de baixíssima permeabilidade, composto predominantemente por asfaltos, elastômeros ou plastômeros, utilizado para controle de fluxo e separação, nas condições de solicitação. É popularmente denominado de geomembrana (Figura 17).



Figura 17 - Barreira geossintética (geomembrana)

Fonte: Inovageo

h) Geocomposto

Os geocompostos são produtos industrializados produzidos a partir da associação de diferentes tipos de geossintéticos, podem ser aplicados com a função de drenagem (Figura 18), filtração ou barreira.



Figura 18 - Geocomposto (drenante)

Fonte: Mantas Brasil

2.4.2 Funções

Dada a diversidade de materiais geossintéticos há também uma variada gama de funções que podem ser desempenhadas por eles em obras de engenharia geotécnica ou civil, além de que é possível que um mesmo geossintético possa exercer mais de uma função concomitantemente (VERTEMATTI, 2015). De acordo com as definições de Vertematti (2015) baseado na NBR ISO 10318, tem-se as seguintes funções.

a) Separação

A separação corresponde a segregação entre dois materiais de naturezas distintas para que não ocorra a mistura destes, e assim preserve as suas características iniciais. O esquema da função de separação pode ser observado na Figura 19.

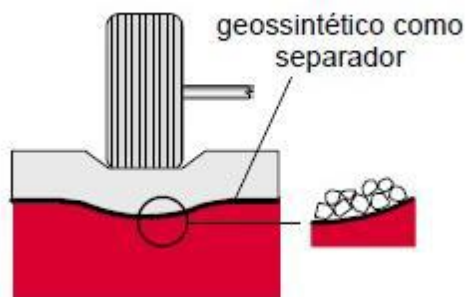


Figura 19 - Esquema de geossintético na função de separação

Fonte: (IGS)

b) Reforço

Para o reforço (Figura 20), tem-se que faz uso do comportamento tensão-deformação de um geossintético para melhorar a capacidade resistente do solo, bem como minimizar deformações do composto.

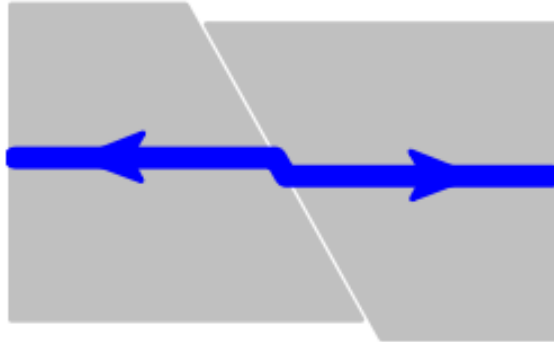


Figura 20 - Esquema de geossintético na função de reforço

Fonte: (IGS)

c) Proteção

O geossintético inserido em uma obra com a função de proteção é colocado adjacente a outro elemento de uma obra geotécnica, com o intuito de protegê-lo contra danos mecânicos tais como abrasão, puncionamento e rasgo. O esquema do geossintético na função de proteção pode ser observado na Figura 21.

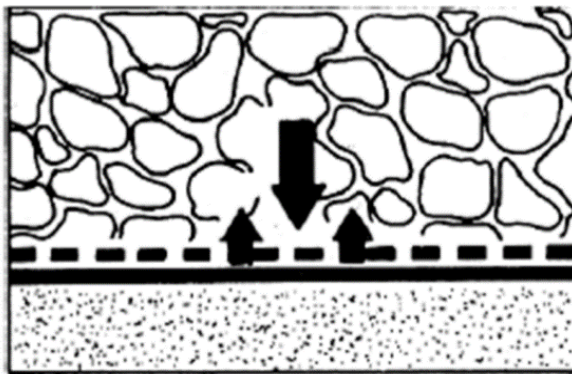


Figura 21 - Esquema de geossintético na função de proteção

Fonte: (VERTEMATTI, 2001)

d) Filtração

Para a função de filtração (Figura 22) tem-se o intuito de reter solo ou partículas de outra natureza para as quais há a incidência de um fluxo, de modo a permitir a livre passagem do fluído através do geossintético.

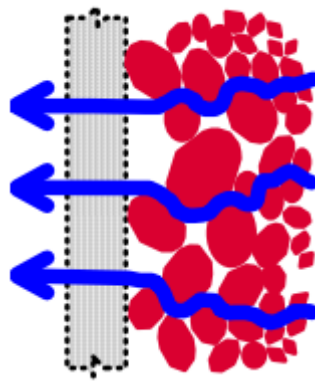


Figura 22 - Esquema de geossintético na função de filtração

Fonte: (IGS)

e) **Drenagem**

A drenagem é responsável pela coleta e condução de fluídos em movimento para que seja levado ao local adequado em um dado projeto. Na Figura 23 pode-se observar o esquema de aplicação de um geossintético na função de drenagem.

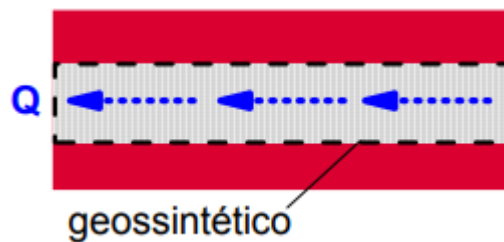


Figura 23 - Esquema de geossintético na função de drenagem

Fonte: (IGS)

f) **Barreira**

A função de barreira (Figura 24) consiste na aplicação de um geossintético com o intuito de impedir a migração de fluídos para estratos ou camadas indevidas.

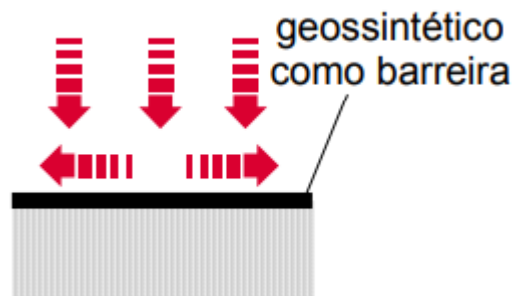


Figura 24 - Esquema de geossintético na função de barreira

Fonte: (IGS)

g) Controle de erosão superficial

O controle de erosão (Figura 25) é baseado na utilização de um geossintético para diminuir a força do impacto da gota da chuva sob a superfície do solo, bem como limitar a movimentação das partículas de solo sob a ação da água.

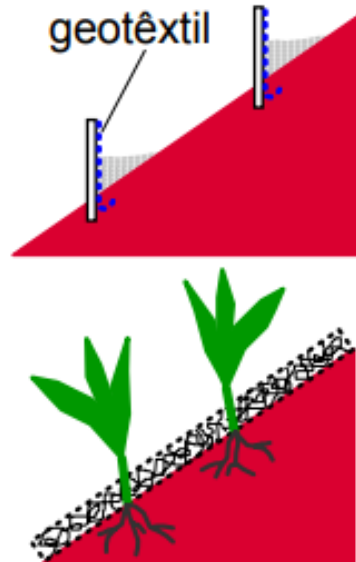


Figura 25 Esquema de geossintético na função de controle de erosão superficial

Fonte: (IGS)

Tendo visto anteriormente os principais geossintéticos e algumas funções, pode-se então observar Tabela 4, no qual está sintetizada a correspondência entre os geossintéticos e suas aplicações em obras geotécnicas ou civis.

Tabela 4 - Função dos principais geossintéticos

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Barreira
Geotêxtil	X	X	X	X	X	x	X*
Geogrelha	X					X	
Geocélula		X			X	X	
Georrede		X		X			
Tubo dreno		X					
Barreira	X						X

*Quando impregnado com asfalto

Fonte: Adaptado (VERTEMATTI, 2015)

2.5 SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO

Atualmente, existem diversos tipos de contenção que podem ser aplicados à estabilidade de taludes e encostas, desde soluções convencionais como o muro de arrimo a tecnologias mais modernas, como é o caso do solo reforçado com geossintético. Serão apresentadas 3 soluções, sendo duas semelhantes do ponto de vista de funcionamento, cortina atirantada e solo grampeado, e a terceira aplicado geossintéticos.

Um dos sistemas de contenção bastante utilizados no Brasil desde 1966 é a cortina atirantada (), que corresponde a barras de aço protendidas inseridas no maciço de solo, de modo que uma calda de cimento é injetada entre a barra e o maciço para que este fique ancorado na zona resistente do talude e assim possa promover a estabilização (TEXEIRA, 2011). As grandes vantagens deste sistema dizem respeito à pouca necessidade de escavação e elevada vida útil.

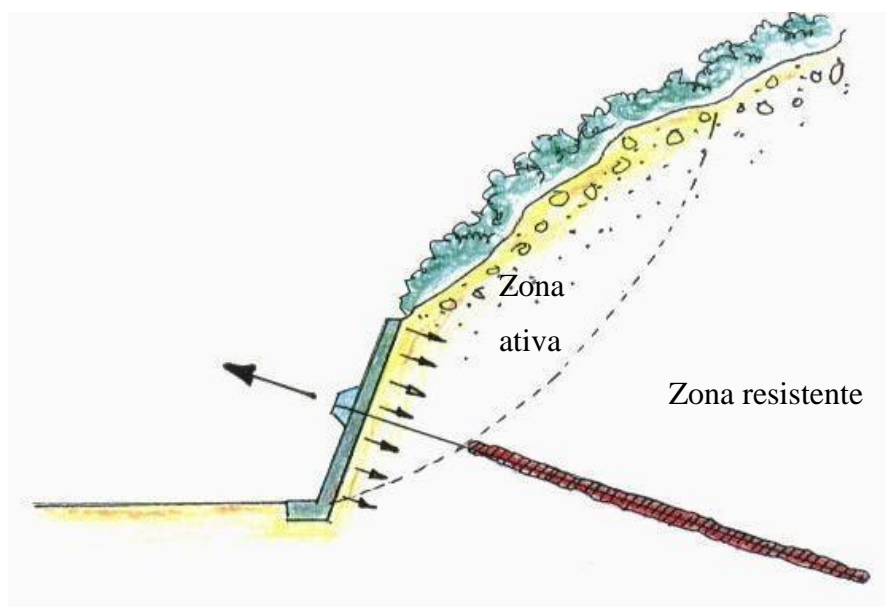


Figura 26 - Esquema da cortina atirantada

Outra estrutura de contenção muito empregada na estabilização de encostas é o solo grampeado, que consiste na inserção de barras de aço (grampos/chumbadores), envolvidas com uma nata de cimento, no maciço (ALMEIDA, 2016), como pode ser visto na seção esquemática da Figura 27 - Esquema do solo grampeado. Esta técnica foi muito utilizada na execução de túneis em 1970, e logo em seguida pôde ser aplicada para escavações ou contenção de superfícies praticamente verticais (TEXEIRA, 2011). Este sistema é muito empregado em terrenos rochosos, visto que os chumbadores são fixados na camada resistente do maciço, sendo assim muito semelhante a cortina atirantada, diferindo pela ausência da protensão presente na cortina.

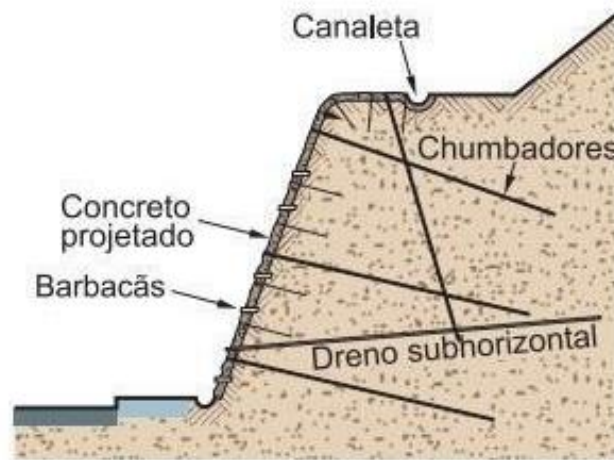


Figura 27 - Esquema do solo grampeado

Fonte: Mikos et al., 2017

Além dos sistemas convencionais, os geossintéticos podem ser empregados como solução estrutural ou não estrutural na estabilização de taludes, como é o caso do solo reforçado que corresponde a uma proposta de contenção, e o caso do controle de erosão configurando uma solução não estrutural.

No tocante a utilização de geossintéticos aplicados ao reforço de muros e taludes (Figura 28), tem-se que este material é inserido no maciço com o intuito de reforçar e garantir a estabilidade dessas obras geotécnicas.

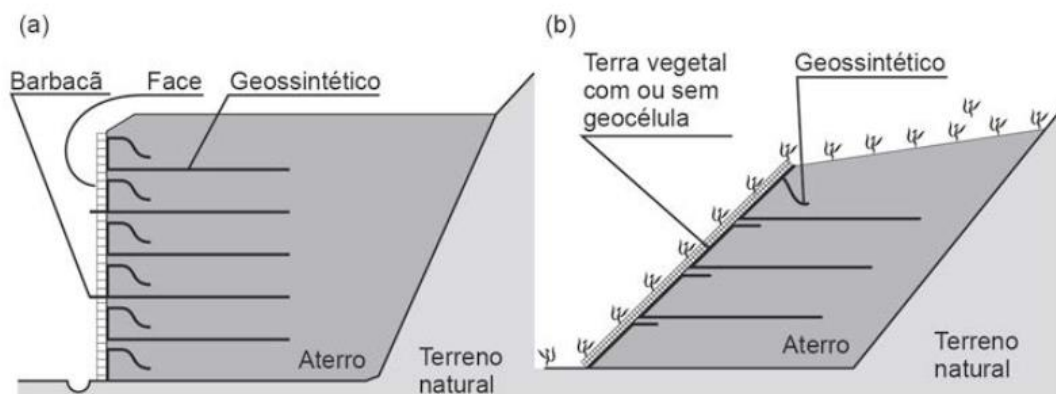


Figura 28 - Esquema de (a) muro e (b) talude íngreme em solo reforçado com geossintético

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

A partir da inserção do geossintético há alteração na distribuição dos esforços dentro do maciço, bem como a diminuição das deformações sofridas pelo maciço, de modo particular, os geossintéticos devem conferir ao solo resistência a tração que este não possui, permitindo a construção de muros com a face praticamente vertical ou taludes com inclinação mais íngremes (VERTEMATTI, 2015).

Tem-se que os geossintéticos mais aplicados em situações de garantia de estabilidade de taludes, ou reforço de muros são os geotêxteis e as geogrelhas (PERALTA, 2007). A estrutura de contenção é constituída de camadas de solo compactadas envelopadas com geossintético, cujo espaçamento é pré-determinado (BECKER, 2006).

No caso dos geotêxteis, eles conferem características como flexibilidade e facilidade de manuseio; baixo custo de construção; resistência a danos mecânicos de instalação; e a capacidade de dissipar pressões neutras no momento da compactação do solo durante a execução (PERALTA, 2007). Porém, este também apresenta algumas desvantagens como, por exemplo, possíveis deslocamentos no momento da execução que podem comprometer o alinhamento da face e por vezes a baixa resistência a tração, se comparado com outros materiais. Geogrelha por exemplo (PERALTA, 2007).

Com relação as geogrelhas, tem-se que estas são largamente utilizadas para esta finalidade de reforço, tendo em vista que possibilita o intertravamento com o solo, baixas deformações, maior resistência a tração. Entretanto, este material apresenta algumas desvantagens, podendo-se citar a necessidade de utilização de um sistema de controle de erosão na face do talude (PERALTA, 2007).

Esta solução em solo reforçado é largamente recomendada pelo DNIT como estabilização de taludes que se encontram em faixa de domínio das rodovias. Em João Pessoa existem poucas obras que empregam geossintéticos, uma delas é o viaduto da BR 101 que dá acesso ao terminal rodoviário, o qual foi realizado em aterro com solo reforçado com geogrelha (Figura 29).



Figura 29 - Aterro construído em solo reforçado em João Pessoa

Fonte: Notas de aula Soares, 2017

Como já apresentado anteriormente, os processos erosivos tem causado grandes impactos tanto nas áreas urbanas como rurais, em decorrência da ocupação desordenada do

espaço físico, da recorrência e intensidade das chuvas em determinadas regiões do país, das características intrínsecas do solo, presença de concentração de solos arenosos na superfície que constituem um material de alta erodibilidade, entre outros fatores (VERTEMATTI, 2015).

Sabe-se também que ações antrópicas podem acelerar este processo erosivo, de modo a ocasionar diversas consequências ao meio ambiente, como perda de áreas agricultáveis, perda de áreas públicas (estradas, praças, ruas etc.), contaminação de cursos d'água, entre outros (VERTEMATTI, 2015).

De acordo com Vertematti (2015), a prevenção contra situações de erosão está direcionada para a associação do sistema de drenagem e a regularização e proteção superficial das áreas que estão sujeitas a esse tipo de desastre, como taludes ou terrenos com maior declividade, visto que o processo erosivo é capaz de desencadear movimentos de massa.

Atualmente há uma grande variedade de produtos geossintéticos que podem ser utilizados para o controle de erosão superficial, os quais são responsáveis por proporcionar proteção e promover o crescimento da vegetação, sendo esta última a maior responsável no controle da erosão (BEZERRA NETO, 2014).

No caso da aplicação de geossintéticos no controle de erosão superficial, estes materiais podem ser utilizados de dois modos: permanente ou temporário. O permanente não irá degradar, enquanto que o temporário irá desintegrar após o um determinado tempo, que por vezes corresponde ao tempo de cultivo da cobertura vegetal colocada por sobre o geossintético (BEZERRA NETO, 2014).

Além de servir como substrato para facilitar o crescimento da cobertura vegetal, ou para conter o movimento das partículas de solo sob a ação da água, os geossintéticos também podem ser utilizados para criar barreiras verticais de contenção de sedimentos em fluxo, de modo a criar paramentos, chamados paliçadas, para reter as partículas carreadas no processo erosivo (VERTEMATTI, 2015).

2.6 DIMENSIONAMENTO DE SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO

De acordo com Vertematti (2015), a solução de solo reforçado é dimensionada em duas etapas: análise da estabilidade interna e externa. A área cujo reforço é empregado pode ser considerada como um muro de gravidade convencional, e por este motivo a estabilidade externa é calculada semelhante a esta estrutura.

A estabilidade externa deve atender 4 requisitos mínimos: (a) deslizamento, (b) tombamento, (c) ruptura de fundação e (d) ruptura global.

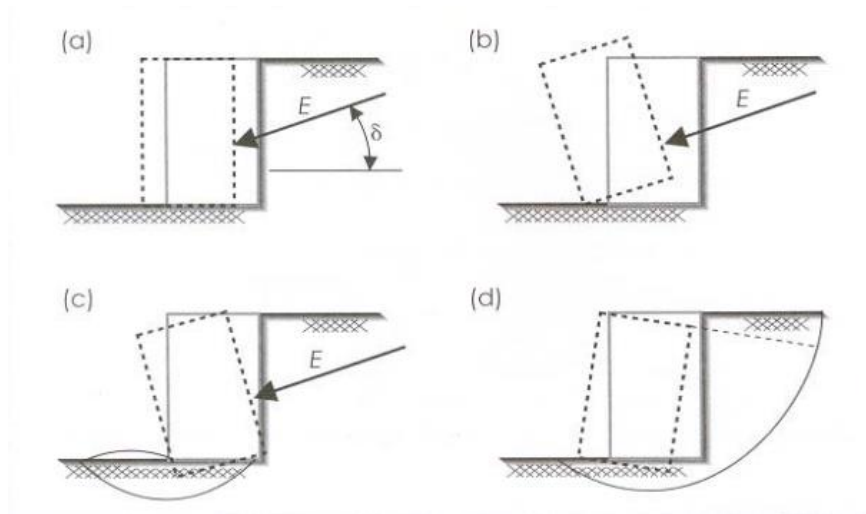


Figura 30 - Critérios para análise da estabilidade externa

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

2.6.1 Deslizamento

O deslizamento deve ser calculado com o intuito de evitar o deslocamento do reforço sob a ação do empuxo ativo (E), de modo que a segurança é estabelecida com um fator de segurança mínimo para a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes.

Na Equação 1 pode-se observar o fator de segurança contra o deslizamento do composto solo reforçado com geossintético:

$$FS_d = \frac{\text{Forças resistentes}}{\text{Forças atuantes}} \geq 1,5 \rightarrow FS_d = \frac{(\gamma H) \cdot L_r \cdot \text{tg}\phi'}{E} \geq 1,5 \quad (1)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Em que:

FS_d → fator de segurança contra deslizamento;

γ → peso específico do solo (kN/m^3);

H → altura do maciço reforçado (m);

L_r → comprimento do reforço (m);

ϕ' → ângulo de atrito do solo ($^\circ$);

E → empuxo ativo (kN/m).

Fazendo as operações necessárias pode-se obter o comprimento do reforço em função do fator de segurança mínimo. O empuxo ativo pode ser obtido através da equação de Rankine para o caso de o reforço não ter sobrecarga, dada pela Equação 2:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a \quad (2)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Na qual K_a corresponde ao coeficiente de empuxo ativo que também pode ser expresso pela formulação de Rankine, expressa na Equação 3.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

2.6.2 Tombamento

Para o dimensionamento quanto ao tombamento, tem-se que a relação entre o momento estabilizante provocado pelo peso próprio do muro e o momento instabilizante ocasionado pelo empuxo ativo deve atender a um fator mínimo de segurança apresentado na Equação 4. O comprimento de reforço deve ser tal capaz de resistir a solicitação de tombamento.

$$FS_t = \frac{(\gamma H) \cdot L_r^2}{2E \cdot \gamma_E} \geq 2,0 \quad (4)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

2.6.3 Ruptura do solo de fundação

Para que todo a base do muro esteja sujeita as forças apenas de compressão, a excentricidade deve ser menor que a sexta parte do comprimento de reforço.

$$e = \frac{k_{a2} \left(1 + 3 \frac{q}{\gamma_2 H} \right)}{6 \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} + \frac{q}{\gamma_2 H} \right)} \leq \frac{L_r}{6} \quad (5)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

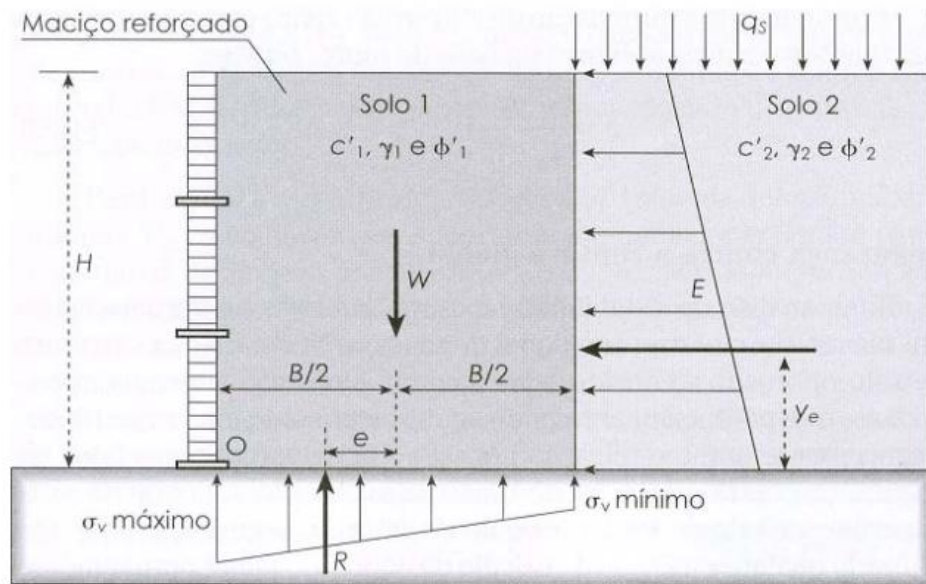


Figura 31 - Distribuição das tensões verticais na base do maciço

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Para que a segurança seja garantida, o comprimento do reforço deve ser tal que atenda aos três requisitos simultaneamente, de modo a ser utilizado o maior valor de L_r .

A capacidade do solo de fundação é determinada pela expressão abaixo:

$$q_{\max} = c'N_c + q_s N_q + 0,5\gamma_f B' N_\gamma \quad (6)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Onde:

q_{\max} → capacidade de carga do solo de fundação (kN/m^2);

c' → coesão do solo de fundação (kPa);

q_s → sobrecarga no nível da base da estrutura (kN), caso esta esteja parcialmente enterrada;

γ_f → peso específico do solo de fundação (kN/m^3);

B' → comprimento do reforço (m);

N_c , N_q e N_γ são fatores de capacidade de carga obtidos a partir das expressões da Equação 7 (Terzaghi e Peck, 1967):

$$N_q = e^{(\pi \cdot \tan \phi')} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (7)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg } \phi'$$

$$N_\gamma = 1,80 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi'$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

De acordo com a distribuição de Meyerhof (1955) para a situação de distribuição uniforme das tensões normais atuantes na base do muro, a Equação 8 é válida.

$$\sigma = \frac{3(\gamma_1 H + q)}{3 - K_{a2} \left(\frac{\gamma_2 H + 3q}{\gamma_1 H + q} \right) \cdot \left(\frac{H}{L_r} \right)^2} \quad (8)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Deste modo, tem-se que o fator de segurança com relação a ruptura de fundação (FS_f) é dado pela Equação 9.

$$FS_f = \frac{q_{max}}{\sigma} \geq 3,0 \quad (9)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

2.6.4 Ruptura global

Existem dois métodos de determinação do FS: equilíbrio limite e elementos finitos. Devido a sua grande empregabilidade em softwares e facilidade de aplicação será dado enfoque ao método do equilíbrio limite.

Este método se baseia no equilíbrio estático de uma massa de solo, delimitada por uma superfície de ruptura, dividida em fatias em que todos os elementos atingem a condição de ruptura ($FS=1$) simultaneamente (GERSCOVICH, 2016).

A partir do método do equilíbrio limite, existem diversas metodologias de cálculo do FS, umas mais simples, outras mais rigorosas. Por exemplo, no modelo de Bishop, as forças horizontais que atuam nos elementos não são consideradas, sendo este um modelo simples de determinação, mas com um grau elevado de precisão. No caso do modelo proposto por Morgenstern e Price (1965), este é considerado rigoroso, visto que assume qualquer superfície de ruptura e utiliza todas as equações da estática (GERSCOVICH, 2016). Sendo o modelo de Morgenstern e Price que determina FS mais precisamente, este será o método adotado para a análise da estabilidade deste trabalho calculado através do software GeoSlope/W.

De acordo com Gerscovich (2016), a análise da estabilidade é para medir a possibilidade de ocorrência de rompimento do talude, o qual é expresso por um número, Fator de Segurança (FS), que exprime a relação entre as tensões cisalhantes mobilizadas e as tensões cisalhantes resistentes, quando o FS é igual a 1 indica a iminência de ocorrer deslizamentos.

A NBR 11682/2009 – Estabilidade de Encostas determina que os taludes devem ser enquadrados em categorias de acordo com o risco de perdas humanas e perdas materiais e ambientais, para estabelecer o FS mínimo admissível para aquela encosta. Os valores mínimos podem ser observados na Figura 32.

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Figura 32 - Fator de segurança mínimo para deslizamento

Fonte: (ABNT, 2009)

2.6.5 Estabilidade interna

O solo reforçado com geossintético deve ser avaliado também a ruptura interna, a qual ocorre quando a sollicitação é superior a capacidade resistente do reforço ou quando há insuficiência de ancoragem do elemento (VERTEMATTI, 2015).

Devido ao trabalho apresentar o solo reforçado com geossintético como solução de estabilização de talude, entretanto de maneira simples, será demonstrado o procedimento de dimensionamento proposto por Jewell (1991), o qual garante comprimentos e espaçamentos do reforços baseados em características geométricas do talude, parâmetros do solo e de características mecânicas do reforço (VERTEMATTI, 2015).

O método de Jewell (1991) utiliza ábacos para o dimensionamento, cujo processo de cálculo inicia com a definição do ângulo de atrito de projeto em função do ângulo de atrito de pico pela sua minoração, apresentado na Equação 10.

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi_p}{f_p} \right) \quad (10)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Tendo que:

ϕ' → ângulo de atrito de projeto (°);

ϕ_p → ângulo de atrito de pico (°);

$f_p \rightarrow$ fator de redução no valor do ângulo de atrito do solo, este fator situa-se entre 1,20 e 1,50.

Na sequência de procedimentos, tem-se a consultas aos ábacos para determinação do coeficiente de empuxo requerido (a) e comprimentos de reforço em função da estabilidade interna (b) e deslizamento ao logo da base (c), devendo sempre adotar o de maior valor. Os ábacos apresentados correspondem a valores de poro pressão nulas, devido a peculiaridade do trabalho.

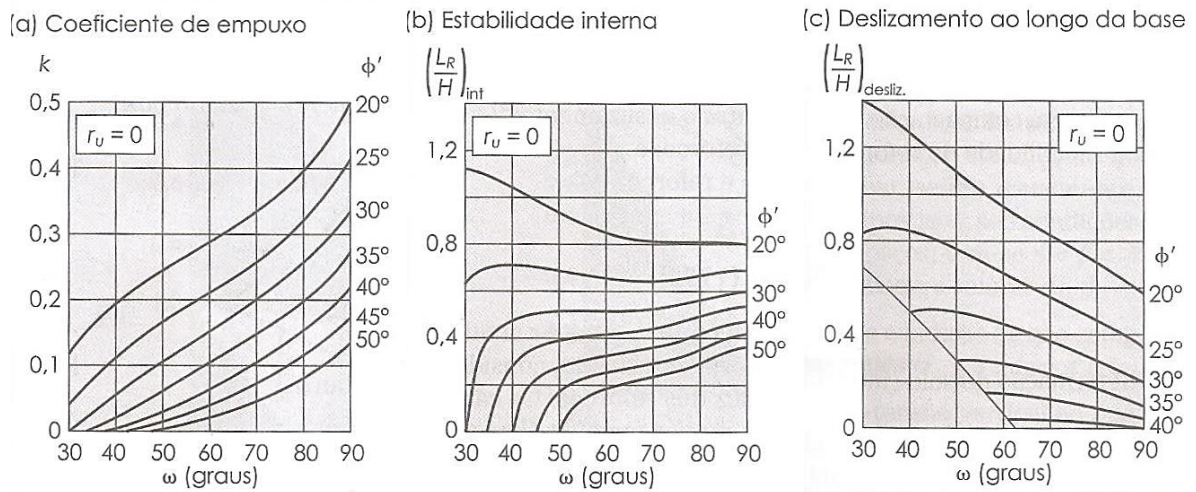


Figura 33 - Ábacos de dimensionamento pelo método de Jewell (1991)

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Observa-se o fato de que os ábacos relacionam o ângulo de atrito de projeto com o ângulo da face do talude (ω) para fornecer os parâmetros necessários para o dimensionamento. Destaca-se que o comprimento do reforço é obtido nos ábacos, entretanto este é função da altura do talude, devendo ser realizadas as operações necessárias para determinar a extensão do reforço.

O espaçamento entre as camadas de considerado como constante e pode ser expresso pela seguinte Equação 11.

$$s_v = \frac{T_d}{k_d \cdot \gamma \cdot H} \tag{11}$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Em que:

$T_d \rightarrow$ resistência de projeto do geossintético (kN/m);

K_d representa o coeficiente de empuxo de dimensionamento, visto que a ancoragem do reforço é capaz limitar a capacidade de resistência do reforço para manter o equilíbrio da estrutura. Este coeficiente é dado por:

$$k_d = \frac{k_{req}}{1 - \frac{L_B}{L_r}} \quad (12)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Sabendo-se que k_{req} e L_r correspondem aos valores obtido nos ábacos, e L_b é o comprimento de ancoragem, obtido pela Equação 13.

$$L_B = \left(\frac{T_d}{2\gamma H} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - ru} \right) \cdot \left(\frac{1}{f_b \tan \phi'} \right) \quad (13)$$

Fonte: (VERTEMATTI, 2015)

Em que ru representa o parâmetro de poro pressão e f_b o coeficiente de interação solo reforço, o qual para o caso em questão foi considerado 0,8.

2.7 ORÇAMENTO E CORREÇÃO

É de fato conhecido que a etapa de elaboração de orçamento de obras civis é considerada uma das mais complexas e importante, pois é capaz de prever os custos envolvidos na construção do empreendimento, baseados em projetos e fatores determinados previamente (TIMM, 2018).

O orçamento também pode ser apresentado em diferentes níveis de detalhamento, a depender do objetivo, como por exemplo, verificar à grosso modo a viabilidade de execução de uma obra ou determinar o mais aproximado custo envolvido no empreendimento.

Para o caso de estimativa inicial dos custos envolvidos em uma construção, deve-se inicialmente determinar os quantitativos referentes aos serviços e materiais a serem necessários ao empreendimento. Os preços unitários de cada componente do orçamento podem ser obtidos através de órgãos que, atualmente, fornecem essas informações, como é o caso do SINAPI disponibilizado pela Caixa Econômica Federal, ou Sicro, fornecido pelo DNIT.

Pelo fato de haver muita variação mercadológica que influencia nos preços dos produtos, as instituições atualizam suas referências de preços e serviços mensalmente. Ao longo do tempo incide sobre esses valores a inflação que faz com que os preços aumentem de forma recorrente, e por este motivo os órgãos desenvolveram índices capazes de aferir e reajustar os custos (TIMM, 2018), como é o caso do DNIT que divulga índices referentes ao ajuste de obras rodoviárias, ferroviária e portuária.

Estes índices de reajustamento são calculados a partir de uma determinada cesta de produtos, ou seja, uma parcela dos insumos é escolhida para representar o total. De acordo com

Timm (2018) a cesta de produtos escolhida pelo DNIT corresponde aos materiais, mão de obra e insumos com maior recorrência nos serviços.

O DNIT divulga mensalmente, com dados desde 1944, os índices de reajustamento de custos calculados pelo Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas e em sua Instrução de Serviço nº 01 de 02 de janeiro de 2019, mais recente, reafirma que a parcela de reajuste dos preços unitários dos serviços deve ser calculada pela Equação 14:

$$R = \frac{I_1 - I_0}{I_0} \times V \quad (14)$$

Fonte: (DNIT, 2019)

Em que:

R → valor da parcela do reajustamento do preço (R\$);

I₁ → índice do mês de reajustamento;

I₀ → índice de reajustamento no mês-base inicial;

V → valor a ser reajustado (R\$).

Os valores dos serviços a serem reajustados são enquadrados em categorias de acordo com o tipo do serviço, como por exemplo, terraplanagem, pavimentação, sinalização, entre outros.

3 ESTUDO DE CASO: SANTA CLARA

3.1 LOCALIZAÇÃO

A comunidade Santa Clara está situada na cidade de João Pessoa, compreendida ente os bairros de Castelo Branco I e II e o Rio Jaguaribe, é margeada pela BR 230 – Km 19 como pode ser observado na Figura 34. Esta comunidade teve início na década de 1970 pela ocupação de uma parcela da população na região do talude, devido, principalmente, ao baixo poder aquisitivo dessas pessoas que migravam de outros bairros ou cidades (SILVA, 2016).

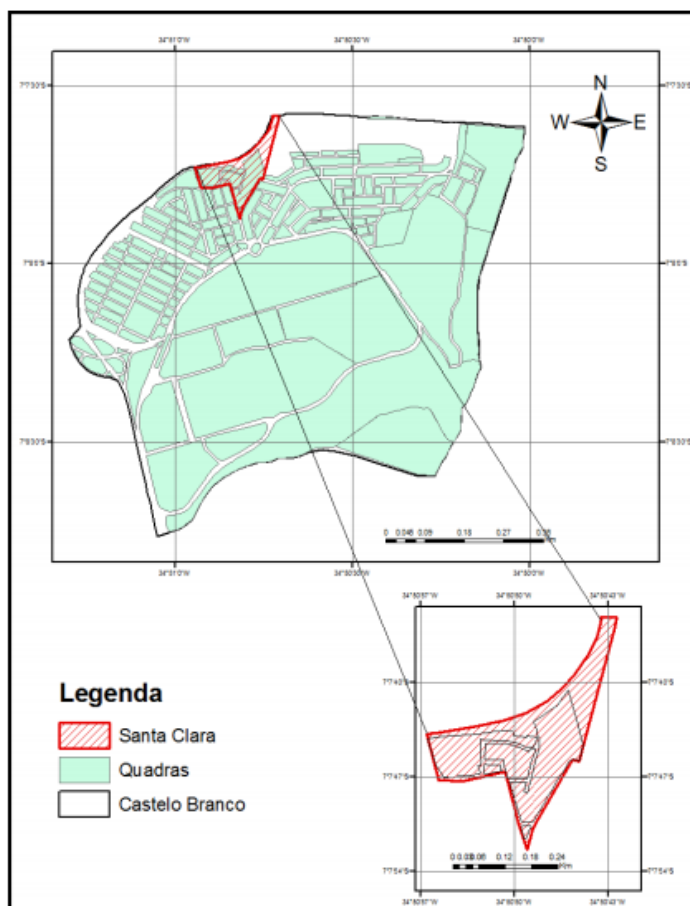


Figura 34 - Localização da comunidade Santa Clara

Fonte: (GARCIA, 2013)

Segundo Soares, Morais e Dias, (2017) a Defesa Civil de João Pessoa afirmou que a comunidade se estende por sete hectares, com a presença de, aproximadamente, 1700 habitantes distribuídos em 400 domicílios. As edificações construídas na comunidade constituem-se em sistemas de alvenaria em blocos cerâmicos e também de taipa, edificadas por vezes em áreas de propriedade federal, como é o caso da faixa de domínio da BR 230 (SILVA, 2016).

Além da precariedade das edificações, a comunidade não dispõe da infraestrutura necessária para garantir habitabilidade àquela localidade, pode-se citar a ausência de sistema de esgotamento sanitário, sistema de drenagem insuficiente, desordenamento nos arruamentos, entre outras situações que são capazes de agravar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos (SILVA, 2016).

3.2 HISTÓRICO DE DESLIZAMENTOS

Em zonas urbanas é comum a ocorrência de casos de movimento de massa devido à ocupação desordenada das áreas de modo a conduzir para a desestabilização das encostas, (GIRÃO, CORREA e GUERRA, 2007), isto porque o processo de desestabilização é agravado por ações antrópicas.

Sob esta perspectiva, pode-se afirmar que desde 2005 o talude que margeia a Br 230 na comunidade Santa Clara apresenta ocorrência de deslizamentos, visto que a encosta foi modificada pela ação antrópica através da remoção da cobertura vegetal, lançamento de lixo, realização de cortes no talude, de modo a proporcionar pequenos deslizamentos (GARCIA, 2013).

Além disso, os grande índices pluviométricos nos meses do inverno promovem a saturação do solo, que, conseqüentemente, diminui a sua resistência e ocorrem deslizamentos. Em 2012 aconteceu um escorregamento que atingiu dois motociclistas e um automóvel (Figura 35), cujos condutores e passageiros ficaram feridos, entretanto não houve vítimas fatais.



Figura 35 - Deslizamento no talude da BR 230 na comunidade Santa Clara em 2012

Fonte: (SOARES, MORAIS e DIAS, 2017)

O ano de 2019 também apresentou a ocorrência de deslizamentos neste mesmo talude (Figura 36), após chuvas intensas que acometeram a região. Este evento de chuva de 30 horas correspondeu a 116% do esperado para o mês inteiro de junho, afirma a Defesa Civil, de modo que diversas áreas da cidade foram afetadas, inclusive casas da comunidade Santa Clara foram desalojadas e posteriormente demolidas (Figura 37), tendo em vista a probabilidade de suceder novos escorregamentos.



Figura 36 - Deslizamento no talude da BR 230 na comunidade Santa Clara em 2019

Fonte: G1-PB



Figura 37 - Talude após demolição de residências em 2019

Fonte: Autor

Na maioria das vezes, os deslizamentos estão associados a grandes índices pluviométricos que incidem sob a cidade. Na Figura 38 pode-se observar a precipitação mensal do ano de 2019 até o mês de julho, mês que a pesquisa foi realizada, demonstrando que em junho choveu aproximadamente 700 mm o que acarretou em deslizamentos como o ocorrido na Santa Clara.

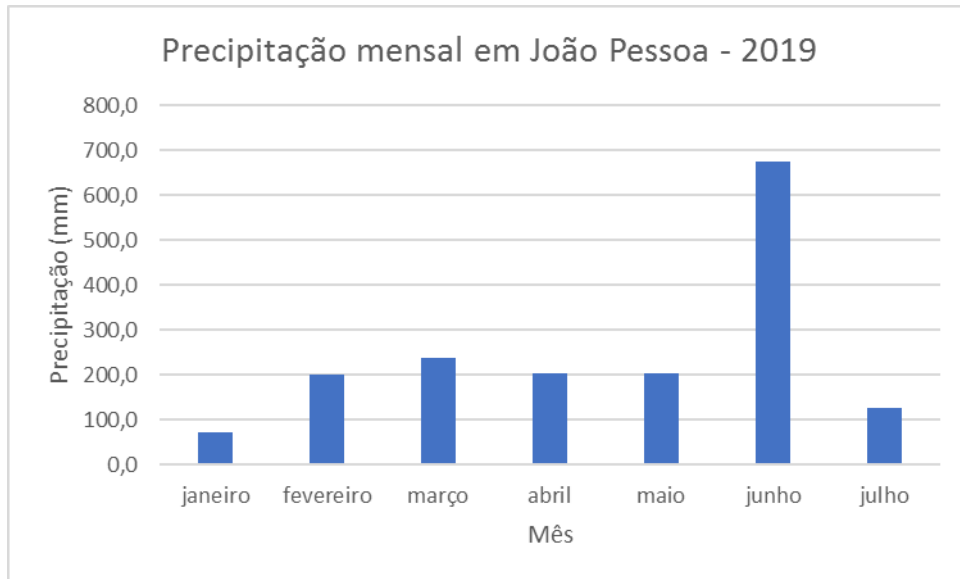


Figura 38 - Precipitação mensal em João Pessoa no ano de 2019

Fonte: Adaptado AESA, 2019

Não só a incidência de grandes volumes de chuva em um intervalo pequeno de tempo pode ocasionar deslizamentos, também pequenos volumes quando associados a um grande acumulado de chuva que incidiu sob determinada localidade (SILVA, 2018).

Por muitas vezes, como solução paliativa, a Defesa Civil municipal instala lonas plásticas sobre a face do talude para impedir a infiltração da água no maciço, para consequentemente reduzir a probabilidade de escorregamentos sob a ação da chuva. Entretanto, sabe-se que esta é apenas uma medida temporária que após pouco tempo de instalação, a lona apresenta os efeitos das intempéries sob a sua integridade física e como resultado há perda da funcionalidade do elemento.



Figura 39 - Antes e depois da instalação da lona plástica

Fonte: (SOARES, MORAIS e DIAS, 2017)

Diante da recorrência de deslizamentos e da situação de vulnerabilidade que se encontra a população habitante desta comunidade e das áreas circunvizinhas, justifica-se a necessidade

3.3 PARÂMETROS DO TALUDE

Visto que a comunidade apresenta áreas de maior grau de risco em detrimento de outras, a área de estudo corresponde a uma parcela do talude que margeia a BR 230 – Km 19, que corresponde a área roxa da Figura 40.

Almeida (2016) realizou o levantamento topográfico a cada 5 m do talude em questão, compreendido em 170 m de extensão, de modo a determinar a seção transversal que melhor representa a encosta. O melhor perfil transversal obtido por Almeida (2016) é apresentado na Figura 41.

No que diz respeito aos parâmetros do solo, foram realizados os ensaios necessários para sua caracterização, de modo a possibilitar o entendimento do comportamento do solo. Deste modo, Soares, Morais e Dias (2017) coletaram 5 amostras, sendo 3 destas indeformadas e 2 deformadas.

As três amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de cisalhamento direto sob umidade natural, para o qual obteve-se a Figura 42 como resultado, destacando-se os valores da coesão ($c=9,02$ kPa) e do ângulo de atrito ($\phi=39^\circ$).

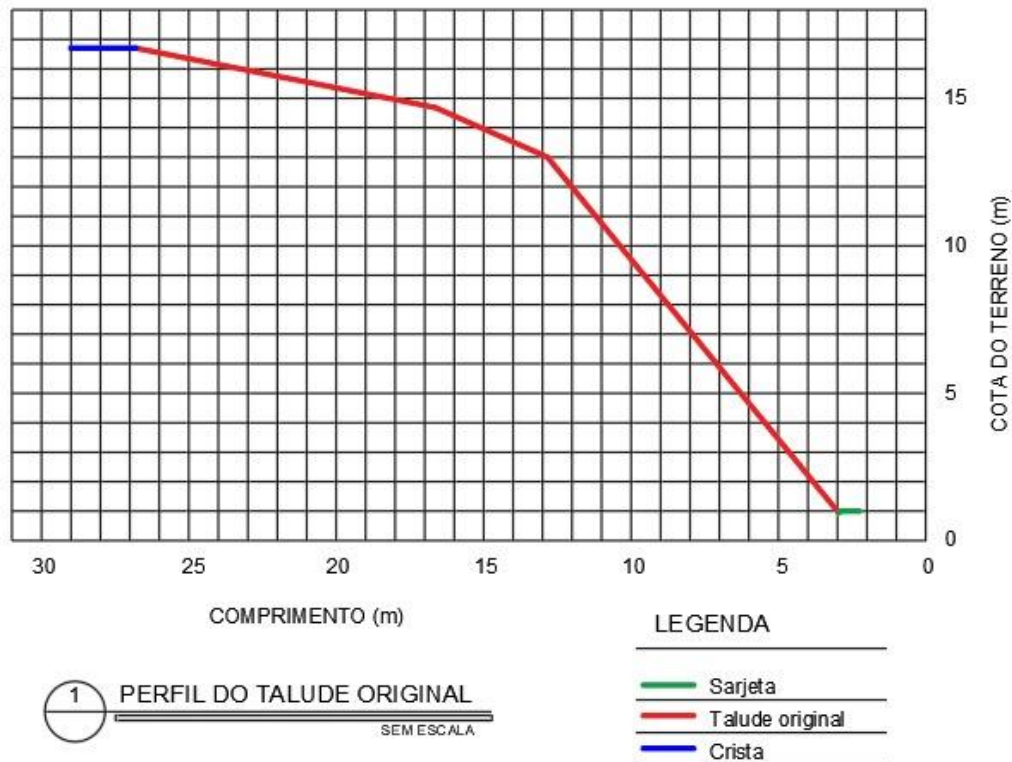


Figura 41 - Perfil do talude original

Fonte: Adaptado Almeida (2016)

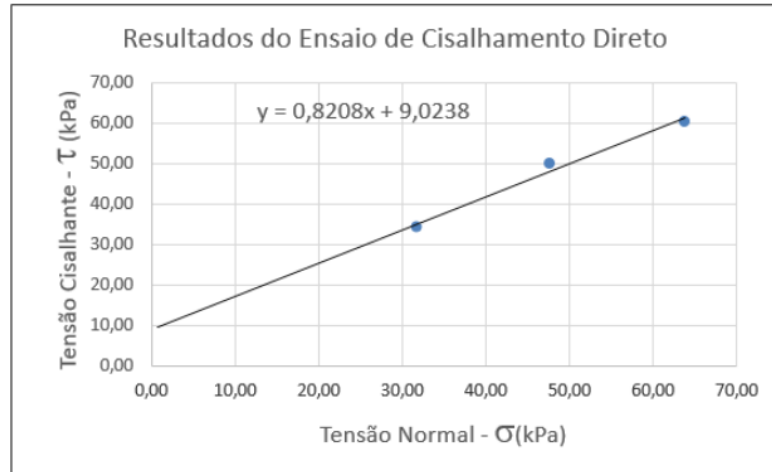


Figura 42 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto

Fonte: (SOARES, MORAIS e DIAS, 2017)

A partir das amostras deformadas foi possível a realização da análise granulométrica, cuja curva é apresentada na Figura 43. Além disso, foi determinado o peso específico do solo, da ordem de 16 kN/m³.

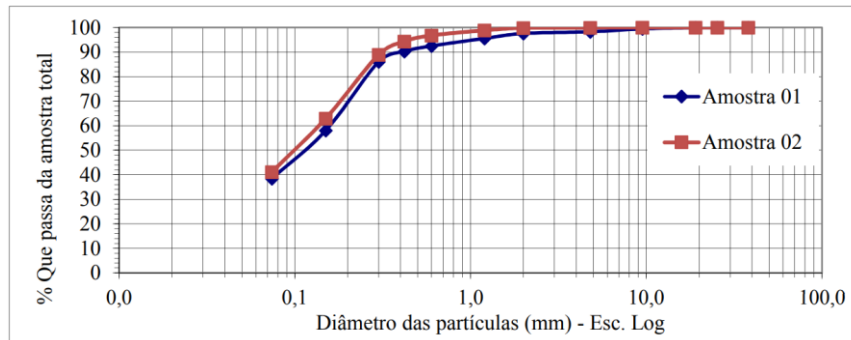


Figura 43 - Resultado do ensaio de granulometria

Fonte: (SOARES, MORAIS e DIAS, 2017)

3.4 ORÇAMENTOS

Para que seja demonstrado os custos envolvidos na execução das soluções propostas (solo reforçado com geossintético, cortina atirantada e solo grampeado) foram desenvolvidos orçamentos que possam balizar o entendimento geral sobre o montante a ser gasto em construções como essas.

Na elaboração do orçamento foram considerados os serviços preliminares de escavação e regularização do talude, drenagem e sistema de contenção, de maneira geral, sem que fossem orçados os custos com instalação e administração das obras, visto que todas apresentariam o mesmo valor.

Além disso, por se tratar de uma comparação de orçamentos entre diferentes propostas de contenção, não foi aplicado o Benefício e Despesas Indiretas (BDI), pois todas as parcelas da composição de custos receberiam este percentual, o que de fato não apresentaria alteração em função da comparação dos valores.

Para determinar os custos de cada solução foram utilizados com dados de referência o SINAPI com mês/base em maio/2019, Sicro com mês base de janeiro/2019, plataforma ORSE com mês base de maio/2019, salientando o fato de que estes dados são os mais recentes disponíveis pelos órgãos. Além disso, foi consultado dados de mercado para obtenção de preços unitários que não estão previstos por alguma destas referências.

Sabendo-se que duas das soluções apresentadas foram elaboradas previamente a execução deste trabalho, faz-se necessária a correção do valor calculado para a realidade atual, devido principalmente a inflação que ocorreu desde a sua elaboração em 2016 até os dias atuais. Para isto, serão aplicados os índices de ajustes de obras rodoviárias proposto pelo DNIT, em face da similaridade que este apresenta com o estudo de caso em questão.

Como mencionado, o reajuste proposto pelo DNIT segue categorias de enquadramento dos serviços, e o valor dos índices de ajustamento referentes ao janeiro de 2016 e maio de 2019 estão dispostos no Anexo I e II, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mencionado anteriormente, diversas são as possibilidades de estrutura de contenção a serem previstas para uma determinada situação, a depender de custo, prazos, disponibilidade de materiais, adequação da solução para uma dada situação, requisitos estéticos, conhecimento técnico, aceitação da população que irá utilizar, entre outros fatores (SANTANA, 2006).

4.1 SOLUÇÃO A: SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO

O objetivo principal deste trabalho diz respeito a elaboração da proposta de solução baseada em solo reforçado com geossintéticos para a estabilização do talude em face da comprovação do baixo custo de execução desta tipologia de contenção.

Para isso, foi realizado o pré-dimensionamento deste elemento levando em consideração o processo de cálculo apresentado no referencial teórico deste trabalho, e os parâmetros do solo

e de geometria do talude que estão resumidos na Tabela 5. Visto que se trata de um pré-dimensionamento considerou-se para o solo que compõe o reforço apresenta as mesmas características do maciço natural, estando esta consideração a favor da segurança, devido ao fato de que o comportamento do solo melhora quando submetido a compactação durante a execução do solo reforçado, além do fato do incremento da resistência do conjunto promovido pela inclusão do geossintético.

Tabela 5 - Resumo de parâmetros do talude

Parâmetros do talude	
ϕ	39°
C	9,02 kPa
H	10 m
γ	16 kN/m ³
β (ângulo da face)	60°
Porosidade	0

Fonte: Autor

Com relação à altura do muro, foi proposta a altura de 10 m baseado na geometria da face do talude original, de modo que a maior parte da superfície de maior inclinação estivesse reforçada com geossintético, sob uma inclinação do plano da região de reforço de 60°, em vista da possibilidade de estruturas praticamente verticais proporcionada pela inclusão do reforço.

Na Tabela 6 identificam-se os valores do comprimento do reforço determinados de acordo com a análise de estabilidade externa, considerando o conjunto de solo reforçado como um muro de gravidade convencional, como foi anteriormente explicado.

Tabela 6 - Resumo dos resultados da estabilidade externa

Parâmetros	Resultados
K_a	0,23
E_a	182,00 kN/m
L_r - deslizamento	2,63 m
L_r - tombamento	3,89 m
L_r - com a base comprimida sem sobrecarga	4,80 m
σ	229,67 kN/m ²
q_{max}	689,00 kN/m ²
N_q	56
N_y	81,6
B'	5 m
D	-2,87 m

Fonte: Autor

O valor de q_{max} foi obtido, inicialmente, multiplicando σ pelo fator de segurança (3,0) de modo que posteriormente possa ser determinado o valor do embutimento do reforço no solo de fundação (D), cujo resultado deu negativo, indicando que não há necessidade de que a

fundação do solo reforçado se encontre embutida, de acordo com o método proposto anteriormente (VERTEMATTI, 2015). Entretanto, tem-se conhecimento de que é uma prática construtiva a colocação de uma camada de pelo menos 50 cm do nível do terreno, a qual seria referente a fundação do sistema, estando, neste sentido, prevista na solução.

O valor de B' , que corresponde ao comprimento do reforço, foi pré-determinado baseado nos valores obtidos no cálculo da estabilidade interna, a ser apresentado na sequência. Diante disto, o comprimento do reforço que atende ao deslizamento, tombamento e ruptura de fundação simultaneamente é 5 m.

Para que fosse possível a verificação da estabilidade interna fez-se necessária a definição de alguns parâmetros referentes ao geossintético a ser instalado. Considerando a altura do muro proposto, 10 m, é recomendável a utilização de geogrelhas, visto que este material apresenta melhor desempenho para estruturas com mais de 4 m de altura quando comparados com os geotêxteis. A geogrelha escolhida apresenta tensão nominal de 60 kN/m, sendo necessário aplicar os fatores de redução quanto a fluência, danos por instalação e danos químicos e ambientais, de modo que a tensão de projeto foi considerada de 35,6 kN/m, estas especificações podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Especificação da geogrelha

Parâmetro	Especificação
Resistência longitudinal última	60 kN/m
Fator de redução devido ao fenômeno da fluência para 75 anos	1,50
Fator de redução devido a danos químicos e ambientais	1,05
Fator de redução devido a danos de instalação para solo tipo 3: areia siltosa	1,07
Fator de redução global	1,69
Resistência de projeto	35,6

Fonte: Maccaferri, 2019

Sendo assim, a verificação da estabilidade interna foi balizada pela obtenção dos comprimentos de reforço necessários através da consulta aos ábacos apresentados na Figura 33, além disso, determinou-se o comprimento de ancoragem mínimo e o espaçamento máximo entre os reforços, cujos valores podem ser observados no Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo dos resultados da estabilidade interna

Parâmetros	Resultados
K_{req}	0,15
(L/H) Estabilidade Interna $\rightarrow L_r$	0,5 \rightarrow 5m
(L/H) Deslizamento $\rightarrow L_r$	0,4 \rightarrow 4m
L_b (Ancoragem)	0,21m
K_d	0,16
S_v	1,42m

Fonte: Autor

Para que a solução de solo reforçado seja estável ela deve atender aos requisitos da estabilidade interna e externa simultaneamente, de modo que o comprimento de reforço que garante estes critérios foi o de 5 m. Além disso, o sistema emprega o espaçamento entre os reforços, o qual, de acordo com o Tabela 8, apresenta valor máximo de 1,42 m, sendo assim foram utilizados reforças espaçados com 1m garantindo a facilidade de execução da estrutura.

Com a geometria e parâmetros do solo e do reforço definidos pôde-se proceder a verificação da estabilidade global do solo reforçado com a utilização do software GeoSlope/W, considerando o método do equilíbrio limite de acordo com os conceitos propostos por Morgenstern & Price, visto se tratar do mais rigoroso. Foram simuladas duas situações no programa: uma com solo reforçado e a outra da situação natural do talude; para que seja possível verificar o incremento no fator de segurança proporcionado pelo reforço.

Na Figura 44 pode-se observar o fator de segurança obtido no talude natural, comprovando que este talude se encontra com fator de segurança do determinado na norma, para a consideração de que o risco envolvido é alto tanto para danos materiais como para vidas humanas, visto que a localidade apresenta alto fluxo de veículos diariamente, conferindo fator de segurança mínimo em 1,5. No tocante a inclusão do geossintético no talude, houve o acréscimo no fator de segurança (Figura 45), sendo superior a 1,7, demonstrando a eficiência do método na obtenção da segurança necessária para o talude, mesmo que alguns parâmetros tenham sido minorados no seu processo de dimensionamento.

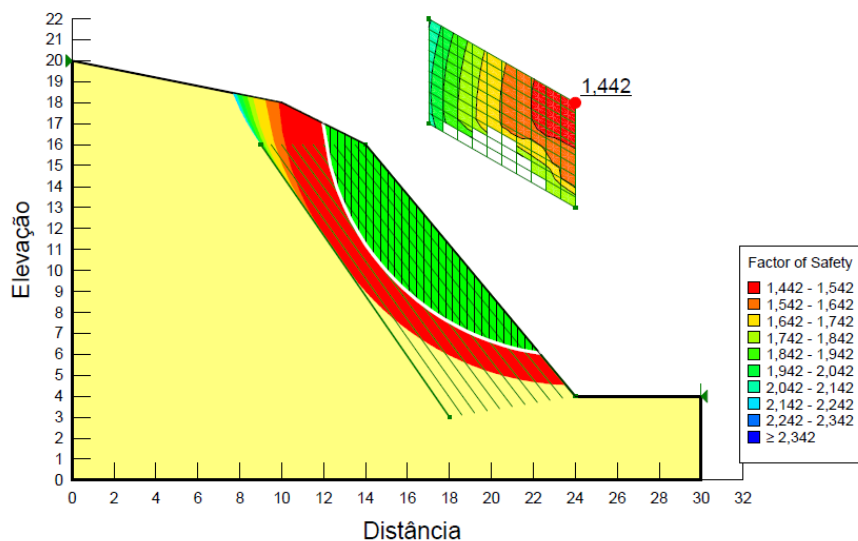


Figura 44 - Fator de segurança para o talude natural

Fonte: Autor

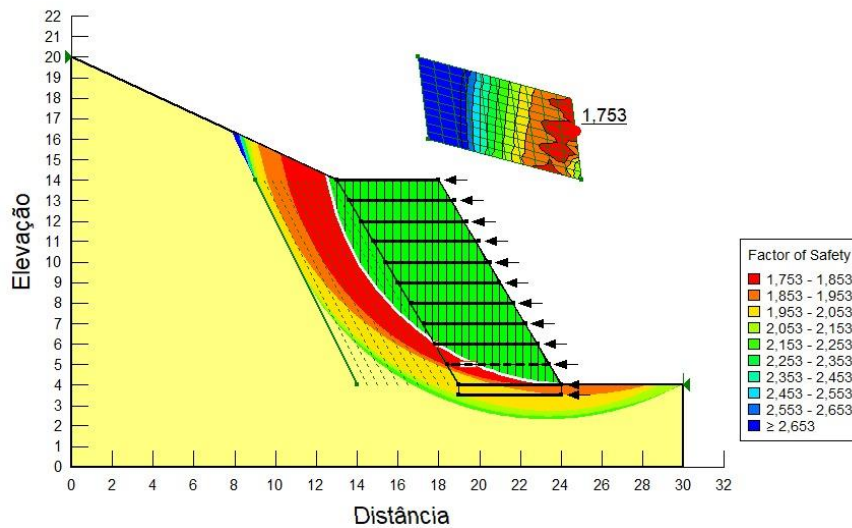


Figura 45 - Fator de segurança para o solo reforçado com geossintético

Fonte: Autor

No APÊNDICE A pode ser observada a seção de movimentação de terra, na qual está representada as áreas de corte e aterro, destacando o fato de que se buscou equilibrar os volumes de solo a serem movimentados com o intuito de que o material retirado nas escavações e regularização do talude pudesse ser utilizado como material de preenchimento do solo reforço. Observa-se a linha vermelha representa a face do talude original, a linha laranja corresponde ao limite de escavação a ser realizado e a linha verde indica a composição final da solução. Além disso, destaca-se a redução na inclinação da área acima do solo reforçado, de maneira a garantir uma maior estabilidade para esta região.

O perfil com os materiais a serem utilizados bem como a disposição deste no talude pode ser observado no APÊNDICE B. O sistema de contenção é composto pela colocação das geogrelhas associadas as fôrmas perdidas, que constitui em uma tela metálica utilizada no processo de execução do reforço. Além disso, foi previsto o sistema de controle de erosão e o de drenagem para que não ocorra a desestabilização da contenção.

No APÊNDICE C está demonstrado o detalhamento dos materiais, com os seus pontos de ancoragem, ilustrando o seu funcionamento. Também pode ser observada a existência de uma camada de argila recomendada na literatura para impedir a infiltração da água nesta região do maciço de solo reforçado, de modo a garantir a hipótese de poropressão nula no interior da contenção.

Está também prevista a colocação de uma canaleta de drenagem, entre a superfície inclinada superior e o topo do maciço de solo reforçado, responsável por coletar e conduzir a água da chuva que escoar sobre a face do talude superior para que seja dada a destinação correta. Existe uma canaleta de drenagem pertencente a rodovia, deste modo não será prevista

a execução da drenagem inferior. Também compõe o sistema de drenagem a previsão de um dreno de areia com o intuito de coletar a água infiltrada, sem que eleve o nível de poropressão do sistema e conseqüentemente haja rupturas por este acúmulo. O dreno de areia está previsto com 30 cm de largura e envolvido com geotêxtil, para que não haja penetração do material mais fino no dreno e assim diminua a sua capacidade drenante, além disso foi proposto a colocação de um geotubo para conduzir a água drenada.

Como alternativa de solução para o dreno de areia tem-se a proposta de utilização de um geocomposto drenante associado ao geotubo, de maneira que o sistema necessite de manutenção em uma frequência menor, além do fato de que o processo de limpeza do dreno sintético apresenta-se de maneira mais simples quando comparado com o material convencional. Entretanto, optou-se por utilizar o dreno de areia com o intuito de haver materiais equivalentes com os sistemas apresentados posteriormente.

4.1.1 Procedimento executivo

A execução da contenção em solo reforçado ou envelopado será dada através da técnica de fôrma perdida, seguindo a recomendação de Vertematti (2015) que indica o seu uso com geogrelhas para evitar a fuga do solo através da face, sendo esta fôrma constituída de uma tela soldada, a qual após a execução da camada permanece no talude.

Durante a execução da solução, salienta-se que devam ser tomados cuidados para que não haja problemas ou dificuldades frente a desestabilização do talude cortado. Primeiro, recomenda-se que este serviço não deve ser realizado em épocas chuvosas, visto os diversos transtornos que a água pode causar, seja para a compactação como para estabilidade. Além disso, recomenda-se a observância quando a energia de compactação do aterro para que não provoque a desestabilização do talude de corte.

A execução da solução proposta inicia-se com a escavação e regularização do talude de acordo com o Apêndice A. Na sequência, tem-se o início da instalação do geotêxtil que irá envolver o dreno de areia e conseqüentemente a execução do dreno de areia com a instalação do geotubo no local adequado.

Tem-se então a execução da fundação do solo reforçado, através da colocação da geogrelha sobre o geotêxtil, e posteriormente lançado o solo para ser compactado. Salienta-se o fato de que o material de aterro é o mesmo proveniente do corte do talude, de modo a reduzir os custos com obtenção e transporte dos materiais. Ao chegar à cota de altura da camada de

fundação é realizada a ancoragem da geogrelha, na qual o reforço é direcionado para o centro do maciço e uma nova camada de solo é compactada por sobre ele.

Na sequência instala-se as camadas posteriores seguindo a mesma sequência de colocação de fôrma, instalação da geogrelha, reaterro e compactação do solo e ancoragem da geogrelha até que se chega a última camada. A camada final diferencia-se pelo fato de ser utilizado uma parcela de argila compactada, com o intuito de diminuir a água infiltrada no maciço, de modo que após a execução desta camada procede-se com a ancoragem da geogrelha normalmente.

Pode-se promover então a execução da canaleta de drenagem responsável por escoar a água escoamento sobre a face superior do talude. Por fim, executa-se a hidrossemeadura e posteriormente a instalação da biomanta e seus respectivos pontos de ancoragem.

Este procedimento padrão é apresentado no fluxograma. Destaca-se o fato de que detalhamentos executivos não foram abordados no presente trabalho.

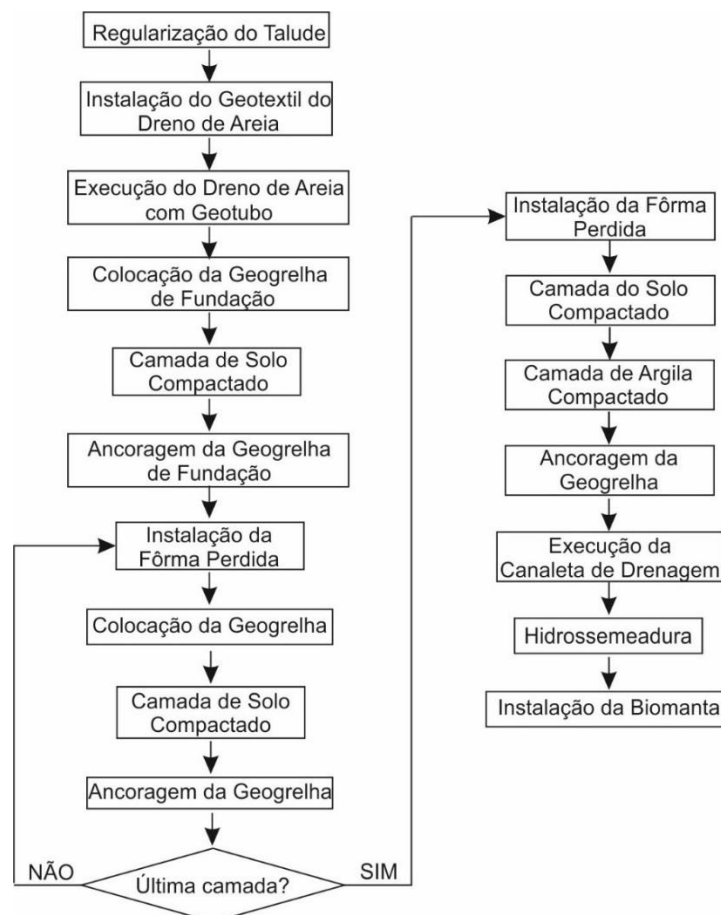


Figura 46 - Fluxograma do processo executivo do solo reforçado com geossintético

Fonte: Autor

4.1.2 Orçamento

Com relação ao orçamento elaborado para a solução do solo reforçado, tem-se que este constitui de uma estimativa preliminar dos custos envolvidos na execução deste elemento, visto que é baseado no pré-dimensionamento da contenção e que não foram feitos estudos mais aprofundados sobre drenagem, ou outros sistemas que sejam interligados a solução proposta. Foram previstos os serviços preliminares, drenagem, contenção e controle de erosão, esclarecendo o fato de que para que fosse possível a comparação com os demais orçamentos apresentados na sequência, foi adotado o quantitativo calculado anteriormente para os serviços em comum entre eles e procurou-se adotar serviços similares para que fossem o mais equivalentes possíveis.

Os preços unitários referentes a geogrelha e biomanta foram obtidos através de consulta de mercado, e os demais valores foram adquiridos em plataformas como SINAPI e Sicro com mês base de referência de maio de 2019. O total da solução foi delimitado em R\$ 1.437.065,77 (um milhão, quatrocentos e trinta e sete mil, sessenta e cinco reais e setenta e sete centavos), estando a planilha orçamentária presente na Tabela 9.

Tabela 9 - Orçamento básico da solução em solo reforçado com geossintético

SOLUÇÃO A - EXECUÇÃO DE SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICO						
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1.0 - SERVIÇOS PRELIMINARES						
1.1	98524	LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA.AF_05/2018	m²	5.049,00	R\$ 1,92	R\$ 9.694,08
1.2	83336	ESCAVACAO MECANICA PARA ACERTO DE TALUDES, EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	m²	5.049,00	R\$ 3,81	R\$ 19.236,69
2.0 - DRENAGEM						
2.1	93358	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF_03/2016	M3	140,25	R\$ 48,85	R\$ 6.851,21
2.2	94097	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MENOR QUE 1,5 M, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. AF_06/2016	M2	255,00	R\$ 3,58	R\$ 912,90
2.3	COMPOSIÇÃO	CALHA EM CONCRETO SIMPLES, EM MEIA CANA, DIAMETRO 300 MM	M	255,00	R\$ 27,95	R\$ 7.127,25
2.4	93382	REATERRO MANUAL DE VALAS COM COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_04/2016	M3	80,33	R\$ 17,39	R\$ 1.396,94
2.5	73883/1	EXECUCAO DE DRENO COM AREIA MÉDIA	M3	916,67	R\$ 99,39	R\$ 91.108,23
2.6	73881/1	EXECUCAO DE DRENO COM MANTA GEOTEXTIL 200 G/M2	M2	6.891,12	R\$ 6,03	R\$ 41.553,45
2.7	75029/1	TUBO PVC CORRUGADO RIGIDO PERFURADO DN 150 PARA DRENAGEM - FORNECIMENTO E INSTALACAO	M	187,00	R\$ 40,56	R\$ 7.584,72
2.8	94319	ATERRO MANUALCOM SOLO ARGILLO-ARENOSO E COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_05/2016	M3	467,50	R\$ 31,16	R\$ 14.567,30

3.0 - CONTENÇÃO						
3.1	79480	ESCAVAÇÃO MECÂNICA CAMPO ABERTO EM SOLO EXCETO ROCHA ATÉ 2,00M PROFUNDIDADE	M3	11.406,07	R\$ 2,06	R\$ 23.496,49
3.2	96995	REATERRO MANUAL APILOADO.	M3	12.750,00	R\$ 29,62	R\$ 377.655,00
3.3	1516299/SICRO	INSTALAÇÃO DE GEOGRELHA	M2	13.090,00	R\$ 49,18	R\$ 643.707,30
3.4	10011/ORSE	FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE TELA AÇO SOLDADA NERVURADA CA-60, MALHA 15X15CM, FERRO 3.4MM, PAINEL 2X3M, (1,00KG/M ²)	m2	3.740,00	R\$ 15,15	R\$ 56.661,00
4.0 - CONTROLE DE EROSÃO						
4.1	SICRO	HIDROSSEMEADURA	M2	5.753,06	R\$ 3,12	R\$ 17.949,53
4.2	COMPOSIÇÃO	BIOMANTA	M2	5.753,06	R\$ 20,44	R\$ 117.563,68
CUSTO TOTAL DA OBRA						R\$ 1.437.065,77

Fonte: Autor

4.2 SOLUÇÃO B: CORTINA ATIRANTADA

Almeida (2016) propôs o emprego da cortina atirantada como solução de estabilização, pois considerou como uma solução de elevada vida útil, suporte a elevadas cargas e fácil aplicabilidade as diversas situações.

Como elucidação da solução, Almeida (2016) realizou o pré-dimensionamento e determinou a geometria do sistema de cortina atirantada deve constar de 9 m de altura e 0,30 m de espessura com a face na vertical. Com relação aos tirantes, estes foram previstos em monobarra de 9 m de comprimento médio, até que estes possam ser ancorados na zona resistente do maciço, inclinação de 15° em relação a horizontal, de modo que estejam espaçados a 2,5 m na horizontal e 2 m na vertical (ALMEIDA, 2016).

No tocante a face exposta do talude, Almeida (2016) propôs a colocação de biomantas associadas a cobertura vegetal, para que seja dado o tratamento para o controle de erosão. Além disso, a área que contém a vegetação apresenta inclinação de 35°, de modo que proporcione maior estabilidade para esta parte do maciço. Esta composição de solução pode ser observada na Figura 47.

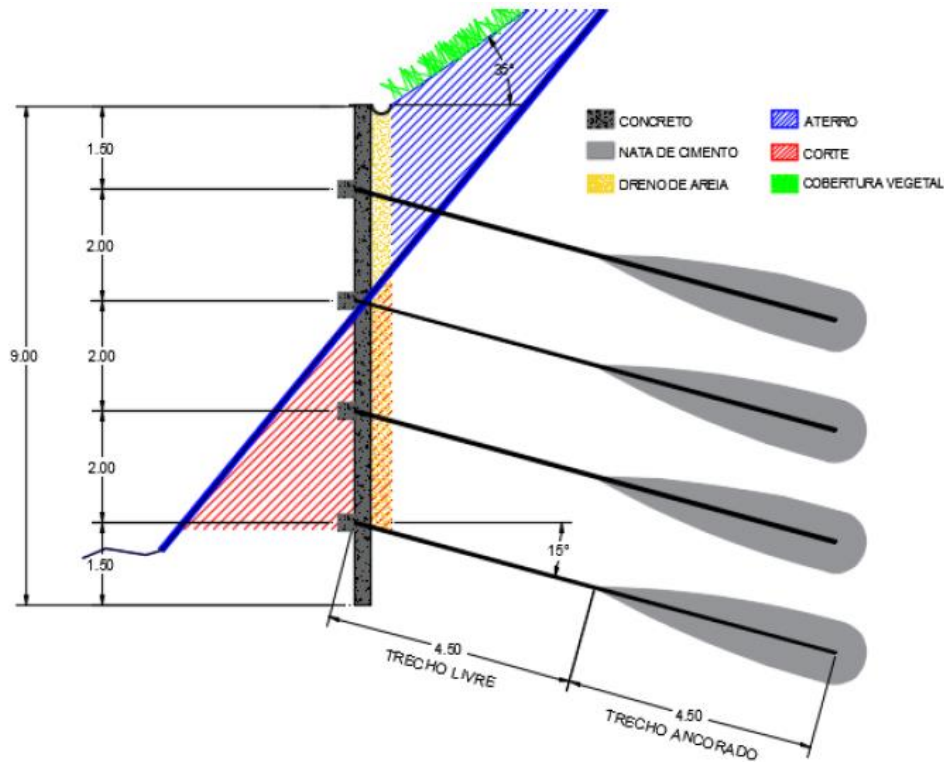


Figura 47 - Solução em cortina atirantada

Fonte: (ALMEIDA, 2016)

Além do sistema de contenção, foi previsto a drenagem das águas pluviais, o qual o sistema é composto por canaleta de drenagem proposta em meio tubo de concreto com diâmetro de 300 mm sobre um filtro de areia de espessura proporcional (ALMEIDA, 2016). Para que a água contida na região sob a presente da cortina atirantada, foram previstas as instalações de barbacãs², seguindo o mesmo espaçamento dos tirantes, de modo a drenar a água percolada para o interior do maciço estabilizado (ALMEIDA, 2016).

4.2.1 Orçamento

Com o intuito de demonstrar os custos envolvidos nesta tipologia de solução, Almeida (2016) elaborou um orçamento baseado no seu pré-dimensionamento, o qual tem data base de janeiro de 2016. Por este motivo, foram aplicados índices de reajuste do DNIT para atualização dos preços, conforme procedimento exposto no Item 2.7 presente no referencial teórico, devido ao fato de que alguns itens não existem mais nas tabelas de referência de preços. Como pode ser visto no APÊNDICE D, o orçamento inicialmente denotava a R\$ R\$ 2.862.636,57 (dois

² Barbacã trata-se de uma drenagem pontual, cuja saída é um tubo de PVC instalado com inclinação descendente sob material arenoso (TEXEIRA, 2011).

milhões, oitocentos e sessenta e dois mil, seiscentos e trinta e seis reais e cinquenta e sete centavos), e atualmente o montante a ser gasto com esta solução chega a R\$ 3.286.291,32 (três milhões, duzentos e oitenta e seis mil, duzentos e noventa e um reais e trinta e dois centavos).

Evidencia-se o fato de que os serviços de hidrossemeadura e biomanta denotam valores de reajuste negativos, devido ao fato de que a partir de 2017 estes elementos trocaram de categoria, o que inicialmente era conservação rodoviária converteu a meio ambiente, e por este motivo afiguram índices menores do que a referência inicial, visto a diferença de serviços que envolvem ambas as categorias.

4.3 SOLUÇÃO C: SOLO GRAMPEADO COM FACE VEGETADA

Outra tipologia de solução que pode ser empregada no talude em questão é constituída em solo grampeado com face vegetada (Figura 48). O pré-dimensionamento desta estrutura foi realizado por Almeida (2016), o qual definiu que os grampos devem apresentar 12 m de comprimento, cuja especificação levou em consideração além do comprimento necessário para efetuar a ancoragem das barras na parte resistente, como também a dimensão de comercialização das barras, de modo que o processo executivo não necessite de cortes nestes elementos. As barras, de CA-50 de diâmetro 25 mm, estão previstas para serem inseridas no solo com inclinação de 15° em relação a horizontal e espaçadas em 2 m tanto na horizontal como na vertical, salientando o fato de que não irá alterar a inclinação original do talude.

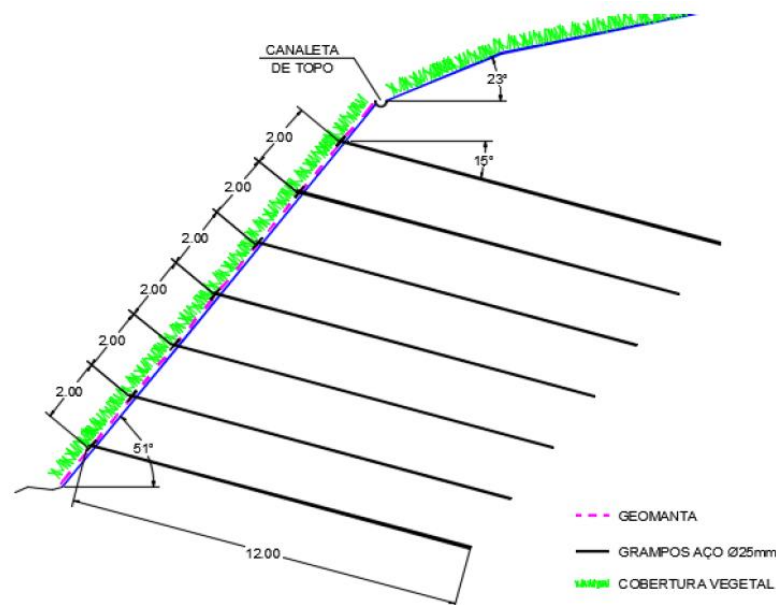


Figura 48 - Solução em solo grampeado

Fonte: (ALMEIDA, 2016)

Na ponta dos grampos foi prevista por Almeida (2016) a colocação de uma tela metálica, com tratamento anticorrosivo, cujas aberturas apresentam 8x10 cm e diâmetro de 2,7 mm, a qual é fixada aos chumbadores através de uma placa metálica de 30x30cm rosqueável. Para melhor fixação desta tela metálica foi proposta a instalação de grampos com 30 cm de comprimento, colocados entre os chumbadores.

Além do sistema de contenção, foi proposta a instalação de biomantas de coco associadas a hidrossemeadura visto que nesta região apresenta pequena inclinação, por este motivo é considerada mais estável, aliado ao fato de que irão proporcionar o controle de erosão do talude. Em consonância com as soluções anteriores, foi prevista a microdrenagem do talude, composto por canaleta com meio tubo de concreto de diâmetro 300 mm.

4.3.1 Orçamento

O orçamento elaborado por Almeida (2016) para solução em solo grampeado também apresenta data-base de janeiro de 2016, e devido a inexistência de alguns itens nas plataformas atuais de consulta de preço, foi utilizado o índice de reajuste do DNIT para a atualização dos preços da época para atualmente. No APÊNDICE E consta o orçamento original associado a correção dos preços, apresentando inicialmente R\$ 1.664.398,92 (um milhão, seiscentos e sessenta e quatro mil, trezentos e noventa e oito reais e noventa e dois centavos) e com a correção para o ano de 2019 denotou R\$ 1.906.659,70 (um milhão, novecentos e seis mil, seiscentos e cinquenta e nove reais e setenta centavos).

Salienta-se o fato de que os serviços de hidrossemeadura e biomanta apresentam valores de reajuste negativos, visto que a partir de 2017 estes serviços trocaram de categoria, o que inicialmente era conservação rodoviária passou a meio ambiente, e por este motivo afiguram índices menores do que a referência inicial, devido a diferença de serviços que envolvem ambas as categorias.

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Com o intuito de comprovar a hipótese de que a solução em solo reforçado com geossintético apresenta-se de forma mais econômica do que as demais, procedeu-se com a comparação entre os orçamentos das soluções de contenção apresentadas anteriormente.

Na Figura 49 pode-se notar que o custo da solução em solo reforçado é bem inferior as outras soluções, representando apenas 43% do custo da cortina atirantada e 75% da solução em solo grampeado, sendo assim, pôde-se notar a viabilidade econômica de execução do solo reforçado.

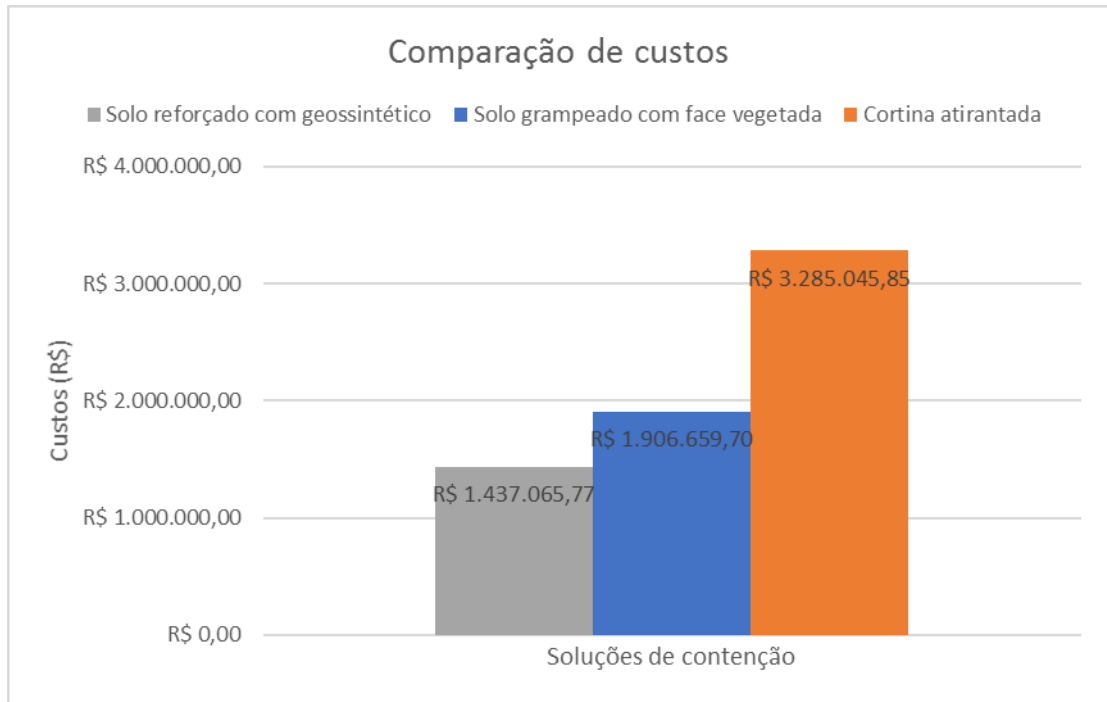


Figura 49 - Comparação de custo das soluções de contenção

Fonte: Autor

Diante do exposto, pôde-se afirmar que o emprego do solo reforçado traz benefícios econômicos para as obras quando comparado com estas soluções, devendo ser avaliado também outros aspectos que balizam a escolha dos sistemas de contenção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É facilmente comprovado que a engenharia geotécnica fornece diversos métodos de contenção e estabilização de encostas, de modo que o engenheiro responsável deve avaliar as prioridades e possibilidade antes da escolha do sistema a ser empregado.

Deste modo, o presente trabalho tinha por objetivo destacar a solução de estabilização de taludes com o emprego de geossintéticos, efetuando o seu dimensionamento e elaborando o seu orçamento preliminar, de modo a possibilitar a comparação do custo de execução com outras soluções convencionais.

O geossintético vem ganhando espaço na engenharia brasileira, sendo este um material polimérico fabricado industrialmente que se apresenta em diversas formas e função, de modo a garantir diferentes aplicações, possibilitando o seu uso em sistemas de drenagem, de controle de erosão superficial, barreiras impermeabilizantes, reforço, entre outros.

Neste sentido, tem-se que uma das alternativas modernas de contenção estabelece o emprego de geossintéticos como elemento de reforço, garantindo a estabilidade do talude. A fim de comprovar a eficácia do solo reforçado, foi estudado o talude da BR 230 – Km 19 na cidade de João Pessoa, no qual diversos escorregamentos aconteceram, resultando após a inclusão do reforço em níveis aceitáveis de segurança estabelecido por norma técnica.

A partir do dimensionamento realizado, foi possível proceder análise preliminar dos custos envolvidos nas contenções apresentadas, sendo um estudo básico para destacar a viabilidade econômica de cada solução. Através do orçamento elaborado comprovou-se que o custo de execução do solo reforçado é inferior as demais alternativas propostas. Deste modo, demonstra-se a possibilidade de utilização deste tipo de solução em obras de contenção em áreas de risco como uma alternativa de baixo custo, especialmente devido a necessidade de execução em curtos prazos, e pequenos recursos a serem destinados para estas áreas.

Para trabalhos futuros, sugere-se o dimensionamento do solo reforçado por outros métodos de estabilidade interna, com a análise do incremento da resistência através da interação solo reforço. Sugere-se, também, a comparação da alternativa de solo reforçado com outros métodos de contenção.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, p. 33. 2009.

ABNT. **NBR ISO 10318-1 Geossintéticos Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, p. 9. 2018.

ALMEIDA, A. D. C. **Propostas para Estabilização de Talude na Rodovia BR-230, KM 19**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 102. 2016.

BANDEIRA, A. P. N. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p.209. 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5797/1/arquivo6627_1.pdf>. Acesso em: 04 Junho 2019.

BECKER, L. B. **Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em ensaios de arrancamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 322. 2006. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=8794@1>>. Acesso em: 10 Junho 2019.

BEZERRA NETO, C. A. **Desenvolvimento de um Equipamento para Avaliação do Desempenho de Geomantas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 104. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/14860/1/CarlindoABN DISSERT.pdf>>. Acesso em: 01 Junho 2019.

BRITO, A. O. **Estudos da erosão no ambiente urbano, visando planejamento e controle ambiental no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Brasília, p. 77. 2012. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10876/1/2012_AnnanerydeOliveiraBrito.pdf>. Acesso em: 05 Junho 2019.

BRITO, M. M. et al. Análise dos Fatores Condicionantes de Movimentos de Massa no Município de Porto Alegre a Partir de Registros Históricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos, p. 1853-1872, Outubro 2016. ISSN ISSN: 1808-0936.

CARNERIO, A. F. S.; FARIA, K. M. S.; SOARES NETO, G. B. IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (Anais)**, Campinas, 2017. 5697-5702.

DNIT. **INSTRUÇÃO DE SERVIÇO Nº 01/2019**. 2019.

GARCIA, D. M. **Riscos ambientais em comunidades subnormais** – a Comunidade Santa Clara no Bairro do Castelo Branco. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 50. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/470/1/DMG01102013.pdf>>. Acesso em: 10 Julho 2019.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GIRÃO, O.; CORREA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. ENCOSTAS URBANAS COMO UNIDADES DE GESTÃO E PLANEJAMENTO, A PARTIR DO ESTUDO DE ÁREAS A SUDOESTE DA CIDADE DO RECIFE - PE. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE - DCG/NAPA, v. 24, n. 3, p. 242-267, set/dez 2007.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Blucher, 1983.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook - A guide to understanding landslides**: Reston. Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf>. Acesso em: 04 Junho 2019.

IBGE. Mapas. **IBGE**. Disponível em:

<<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa1061>>. Acesso em: 08 Junho 2019.

IBGE. Perfil dos Municípios Brasileiros - 2013. **IBGE**. Disponível em:

<<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/default.shtm>>. Acesso em: 07 Junho 2019.

IGS, I. G. S. **Funções do geossintético**. IGS Brasil.

IPT. Notícias: IPT. **Site do IPT**, 2017. Disponível em:
<http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1190>. Acesso em: 07 Junho 2019.
MACEDO, E. S.; MARTIS, P. P. D. Análise do Banco de Dados de Mortes por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **15º CONGRESSO BRASILEIRO DE GELOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**. São Paulo: ABGE, p.7., p. 7, 2015. Disponível em:
<<http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/294.pdf>>. Acesso em: 01 Junho 2019.

MARTINI, L. C. P. et al. Avaliação da Suscetibilidade a Processos Erosivos e Movimentos de Massa: Decisão Multicriterial Suportada em Sistemas de Informações Geográficas. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 41-52, Julho 2006. Disponível em:
<www.igc.usp.br/geologiausp>. Acesso em: 01 Junho 2019.

MELO, J. F. G. **Utilização de Geossintético no Controle da Erosão**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.61. 2016. Disponível em:
<http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/utilizacao-de-geossintetico-no-controle-da-erosao.pdf>. Acesso em: 10 Junho 2019.

OLIVEIRA, L. C. D. **Análise Quantitativa de Risco de Movimentos de Massa com Emprego se Estatística Bayesiana**. (Tese de Doutorado) - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 496. 2004.

PERALTA, F. N. G. **Comparação de Métodos de Projeto para Muros de Solo Reforçado com Geossintéticos**. (Tese de Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil. PUC-RIO. Rio de Janeiro, p. 162, 2007. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=11331@1>>. Acesso em: 10 Junho 2019.

PEREIRA, N. N. T. **Proposta de Metodologia para Mapeamento de Risco Geológico Geotécnico de Escorregamentos em João Pessoa - PB**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 57, 2017. Disponível em:
<<http://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2017.1/proposta-de-metodologia-para-mapeamento-de-risco-geologico-geotecnico-de-escorregamentos-em-joao-pessoa-2013-pb.pdf>>. Acesso em: 30 Abril 2019.

SANTANA, R. G. **Análise De Soluções De Engenharia Para Estabilização De Encostas Ocupadas Na Região Metropolitana De Recife - PE**. Estudo de caso: ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada na UR 2, Ibura. (Dissertação de Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 181, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5555>>. Acesso em: 01 Julho 2019.

SILVA, L. S. **Análise de Curva de Correlação entre Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de João Pessoa (PB)**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 71, 2018. Disponível em: <<http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2017.2/analise-de-curva-de-correlacao-entre-pluviosidade-e-movimentos-de-massa-nas-encostas-de-joao-pessoa-pb.pdf>>. Acesso em: 04 Junho 2019.

SILVA, X. A. S. **Mapeamento de Áreas de Risco na Cidade de João Pessoa: comunidades Riachinho e Santa Clara**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.65, 2016. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/mapeamento-de-areas-de-risco-na-cidade-de-joao-pessoa.pdf>. Acesso em: 01 Julho 2019.

SIMÕES, P. M. L.; OLIVEIRA, C. V. Avaliação da susceptibilidade à erosão e aos movimentos de massa no município de Ibititê. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 22-30, julho 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/291257993_AVALIACAO_DA_SUSCEPTIBILIDADE_A_EROSAO_E_AOS_MOVIMENTOS_DE_MASSA_NO_MUNICIPIO_DE_IBIRITE>. Acesso em: 30 Maio 2019.

SOARES, F. L.; MORAIS, G. S.; DIAS, S. P. Mapeamento De Área Em Risco De Deslizamento E Análise De Estabilidade De Talude Na Cidade De João Pessoa-PB. **XII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE 2017**, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil , 2017.

TEXEIRA, I. J. R. **Estudo Comparativo de Duas Alternativas para Contenção de Taludes Verticais: Solo Grampeado E Cortina Atirantada**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, p.123, 2011. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/%C3%8DTALO%20JEFFERSON%20ROCHA%20TEIXEIRA.pdf>>. Acesso em: 30 Junho 2019.

TIGA, J. F. **Análise espacial e estatística dos movimentos de massa deflagrados pelas chuvas dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 na região serrana do estado do Rio de Janeiro, Brasil**. (Dissertação de Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, p. 99, 2013. ISSN Publicação G.DM-220/13. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13757/1/2013_JhonFredyTigaEntralgo.pdf>. Acesso em: 30 Maio 2019.

TIMM, L. L. **Sistemas Referenciais de Custos Rodoviários Federais: Evolução Histórica e Métodos de Reajuste**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 167. 2018.

TORRES, F. S. M. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca-PE.** (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 106, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/13684/1/dissertacao_fernanda_miranda.pdf>. Acesso em: 01 Junho 2019.

VERTEMATTI, J. C. **CURSO BÁSICO DE GEOTÊXTEIS - CBG.** Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos - ABINT. [S.l.]. 2001.

VERTEMATTI, J.C. (COORDENADOR). **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SEÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA PARA PROPOSTA EM SOLO REFORÇADO

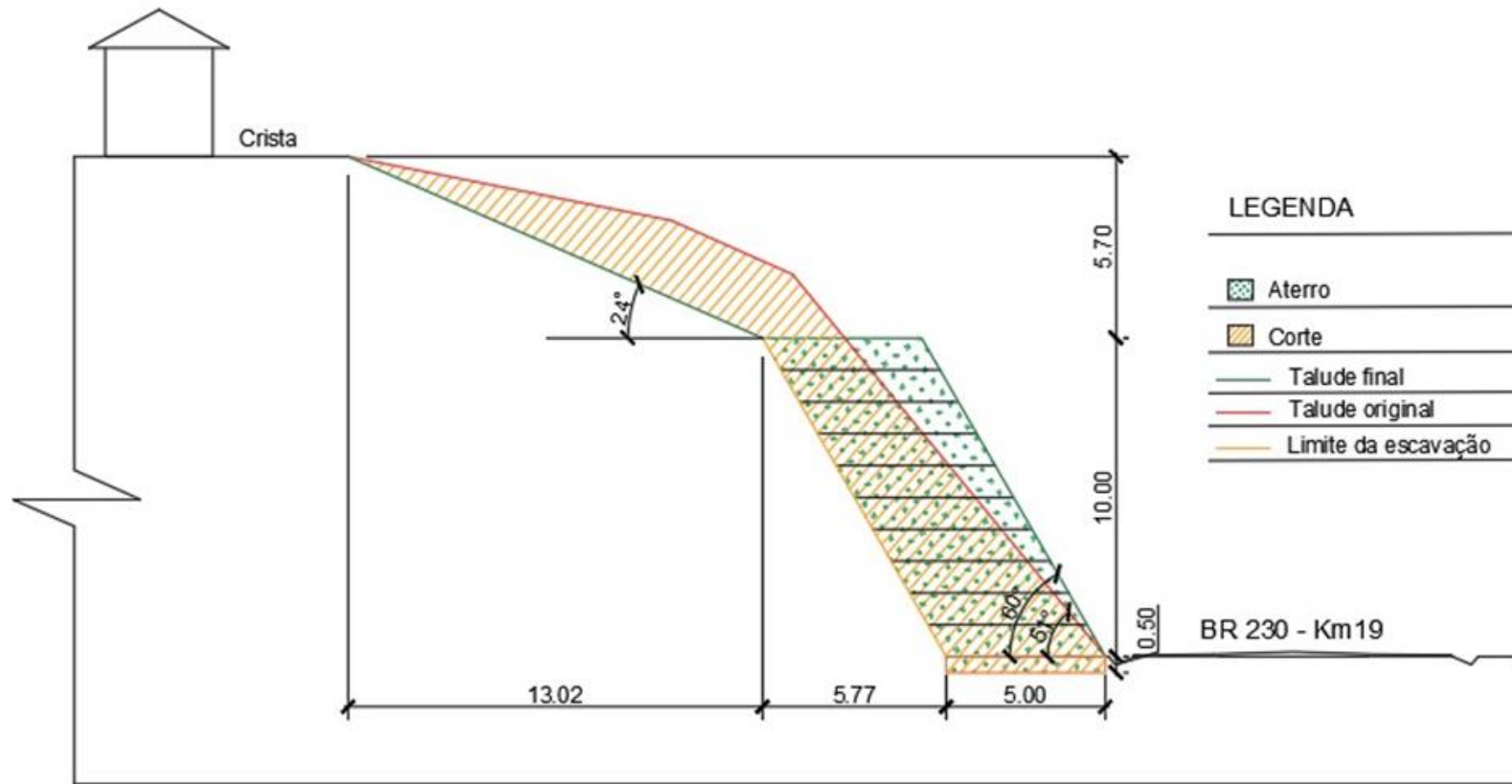
APÊNDICE B – SOLUÇÃO EM SOLO REFORÇADO

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO EM SOLO REFORÇADO

APÊNDICE D – ORÇAMENTO ORIGINAL E CORRIGIDO DA SOLUÇÃO EM CORTINA ATIRANTADA

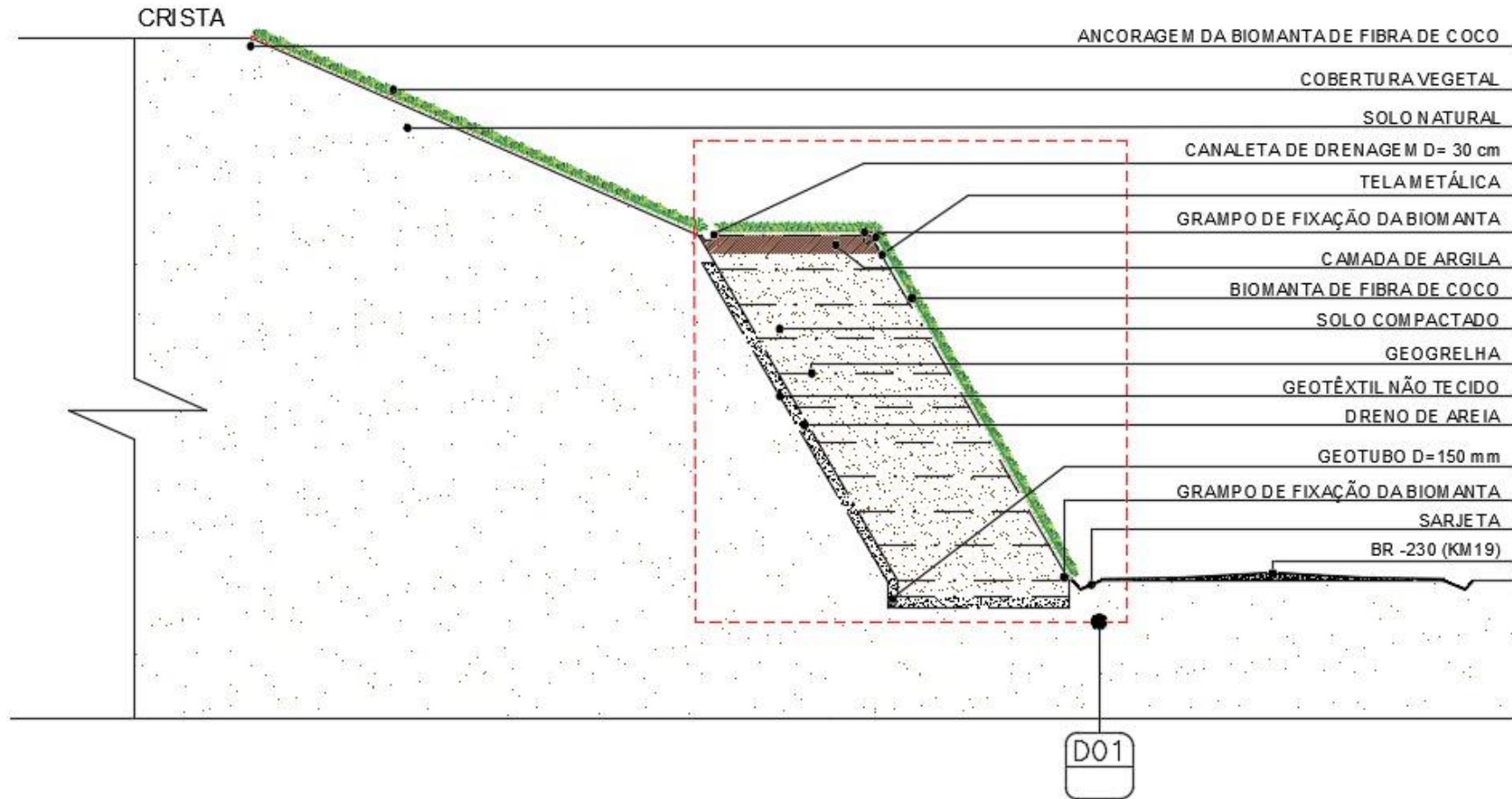
APÊNDICE E – ORÇAMENTO ORIGINAL E CORRIGIDO DA SOLUÇÃO EM SOLO GRAMPEADO COM FACE VEGETADA

APÊNDICE A - SEÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA PARA PROPOSTA EM SOLO REFORÇADO



2 PERFIL DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA
SEM ESCALA

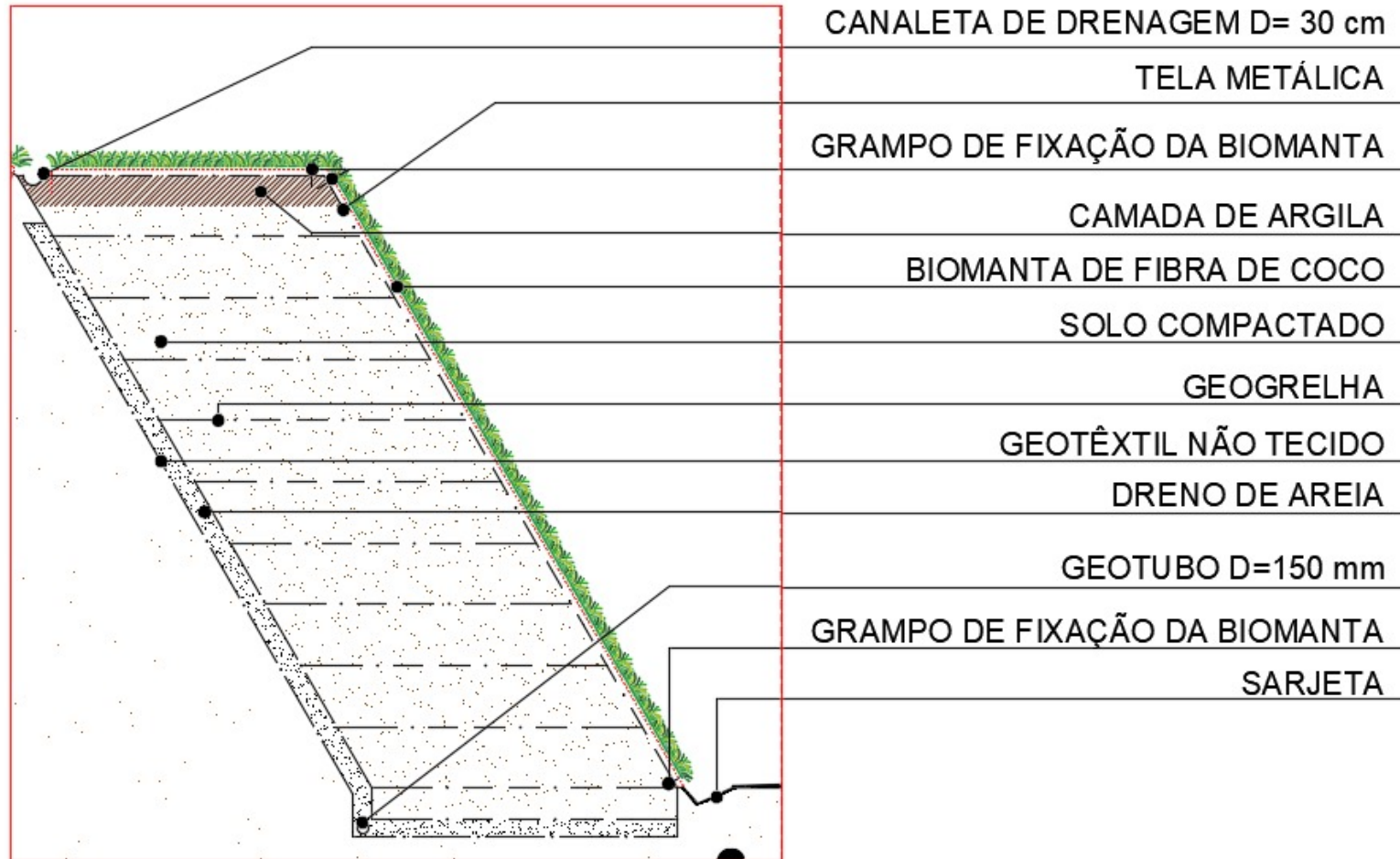
APÊNDICE B - SOLUÇÃO EM SOLO REFORÇADO



1 DETALHAMENTO - SOLUÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSINTÉTICO

SEM ESCALA

APÊNDICE C - DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO EM SOLO REFORÇADO



2 DETALHE 01 - COMPONENTES DA SOLUÇÃO
SEM ESCALA

APÊNDICE D - ORÇAMENTO ORIGINAL E CORRIGIDO DA SOLUÇÃO EM CORTINA ATIRANTADA

SOLUÇÃO B - EXECUÇÃO DE CORTINA ATIRANTADA											
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	Preço na data base jan/2016		Preço ajustado para mai/2019				
					PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	CATEGORIA	I0	I1	R	VALOR FINAL
1.0 - SERVIÇOS PRELIMINARES											
1.1	72213/SINAPI	LIMPEZA MANUAL DO TERRENO (C/ RASPAGEM SUPERFICIAL)	m²	5.049,00	R\$ 2,71	R\$ 13.682,79	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 2.183,17	R\$ 15.865,96
1.2	COMPOSIÇÃO	REGULARIZAÇÃO EM TALUDE INGREME COM UTILIZAÇÃO DE RAPEL	m²	5.049,00	R\$ 9,87	R\$ 49.833,63	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 7.951,25	R\$ 57.784,88
2.0 - DRENAGEM SUPERFICIAL											
2.1	73965/010 - SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA ATE 1,5M EXCL. ESGOTAMENTO/ESCORAMENTO	m³	140,25	R\$ 37,95	R\$ 5.322,49	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 849,23	R\$ 6.171,72
2.2	5622/SINAPI	REGULARIZAÇÃO DE FUNDO DE VALAS	m²	255,00	R\$ 3,57	R\$ 910,35	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 145,25	R\$ 1.055,60
2.3	83689/SINAPI	CALHA EM MEIO TUBO DE CONCRETO SIMPLES, COM D = 30 CM	m	255,00	R\$ 34,86	R\$ 8.889,30	DRENAGEM	R\$ 277,96	R\$ 306,95	R\$ 927,38	R\$ 9.816,68
2.4	73883/001- SINAPI	EXECUÇÃO DE DRENO FRANCES COM AREIA MEDIA	m³	469,20	R\$ 86,09	R\$ 40.393,43	DRENAGEM	R\$ 277,96	R\$ 306,95	R\$ 4.214,08	R\$ 44.607,51
2.5	74015/1-SINAPI	REATERRO E COMPACTAÇÃO MECÂNICO DE VALA C/COMPACTADOR MANUAL TIPO SOQUETE VIBRATÓRIO	m³	26,78	R\$ 21,16	R\$ 566,66	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 90,41	R\$ 657,07
3.0 - CONTENÇÃO											
3.1	73904/1-SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL CAMPO ABERTO EM SOLO EXCETO ROCHA ATE 2,00M	m³	1.946,35	R\$ 31,77	R\$ 61.835,54	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 9.866,22	R\$ 71.701,76
3.2	83441-SINAPI	ATERRO APILOADO MANUAL EM CAMADAS DE 20 CM C/ APROVEITAMENTO	m³	1.769,95	R\$ 37,95	R\$ 67.169,60	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 10.717,30	R\$ 77.886,91
3.3	5 S 05 102 00 - SICRO2	HIDROSSEMEADURA	m²	3.595,50	R\$ 0,83	R\$ 2.984,27	CONSERVAÇÃO/MEIO AMBIENTE	R\$ 268,11	R\$ 112,57	-R\$ 1.731,30	R\$ 1.252,96

SOLUÇÃO B - EXECUÇÃO DE CORTINA ATIRANTADA											
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	Preço na data base jan/2016		Preço ajustado para mai/2019				
					PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	CATEGORIA	I0	I1	R	VALOR FINAL
3.4	COMPOSIÇÃO	BIOMANTA EM FIBRA DE COCO	m²	3.595,50	R\$ 10,50	R\$ 37.752,75	CONSERVAÇÃO/MEIO AMBIENTE	R\$ 268,11	R\$ 112,57	-R\$ 21.902,02	R\$ 15.850,73
3.5	2 S 04 002 01-SICRO2	PERFURAÇÃO ROTATIVA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA	m	2.412,00	R\$ 139,84	R\$ 337.294,08	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 53.817,25	R\$ 391.111,33
3.6	2 S 05 340 01-SICRO2	EXECUÇÃO CORTINA ATIRANTADA CONC. ARMADO FCK=15MPA	m²	1.495,85	R\$ 1.264,86	R\$ 1.892.040,83	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	R\$ 270,33	R\$ 313,44	R\$ 301.735,19	R\$ 2.193.776,02
3.7	2 S 05 900 01-SICRO2	EXECUÇÃO TIRANTE PROTENDIDO CORTINA ATIRANTADA	m	2.376,00	R\$ 144,29	R\$ 342.833,04	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	R\$ 270,33	R\$ 313,44	R\$ 54.673,66	R\$ 397.506,70
3.8	83680-SINAPI	TUBO PVC D=3" COM MATERIAL DRENANTE PARA DRENO/BARBACÁ	m	79,20	R\$ 14,24	R\$ 1.127,81	DRENAGEM	R\$ 277,96	R\$ 306,95	R\$ 117,66	R\$ 1.245,47
CUSTO TOTAL DA OBRA						R\$ 2.862.636,57					R\$ 3.286.291,32

APÊNDICE E - ORÇAMENTO ORIGINAL E CORRIGIDO DA SOLUÇÃO EM SOLO GRAMPEADO COM FACE VEGETADA

SOLUÇÃO C - EXECUÇÃO DE SOLO GRAMPEADO COM FACE VERDE											
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	Preço na data base jan/2016		Preço ajustado para mai/2019				
					PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	CATEGORIA	I1	I0	R	VALOR FINAL
1.0 - SERVIÇOS PRELIMINARES											
1.1	72213/SINAPI	LIMPEZA MANUAL DO TERRENO (C/ RASPAGEM SUPERFICIAL)	m²	5.049,00	R\$ 2,71	R\$ 13.682,79	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 2.183,17	R\$ 15.865,96
1.2	COMPOSIÇÃO	REGULARIZAÇÃO EM TALUDE INGREME COM UTILIZAÇÃO DE RAPEL	m²	5.049,00	R\$ 9,87	R\$ 49.833,63	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 7.951,25	R\$ 57.784,88
2.0 - DRENAGEM SUPERFICIAL											
2.1	73965/010 - SINAPI	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA EM MATERIAL DE 1A CATEGORIA ATE 1,5M EXCL. ESGOTAMENTO/ESCORAMENTO	m³	140,25	R\$ 37,95	R\$ 5.322,49	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 849,23	R\$ 6.171,72
2.2	5622/SINAPI	REGULARIZAÇÃO DE FUNDO DE VALAS	m²	255,00	R\$ 3,57	R\$ 910,35	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 145,25	R\$ 1.055,60
2.3	83689/SINAPI	CALHA EM MEIO TUBO DE CONCRETO SIMPLES, COM D = 30 CM	m	255,00	R\$ 34,86	R\$ 8.889,30	DRENAGEM	R\$ 277,96	R\$ 306,95	R\$ 927,38	R\$ 9.816,68
2.4	74015/1-SINAPI	REATERRO E COMPACTACAO MECANICO DE VALA C/COMPACTADOR MANUAL TIPO SOQUETE VIBRATÓRIO	m³	80,33	R\$ 21,16	R\$ 1.699,78	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 271,21	R\$ 1.970,99
3.0 - CONTENÇÃO											
3.1	73904/1-SINAPI	ESCAVACAO MANUAL CAMPO ABERTO EM SOLO EXCETO ROCHA ATE 2,00M	m³	464,80	R\$ 31,77	R\$ 14.766,70	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 2.356,11	R\$ 17.122,81
3.2	83441-SINAPI	ATERRO APILOADO MANUAL EM CAMADAS DE 20 CM C/ APROVEITAMT	m³	288,40	R\$ 37,95	R\$ 10.944,78	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 1.746,30	R\$ 12.691,08
3.3	5 S 05 102 00 - SICRO2	HIDROSSEMEADURA	m²	5.049,00	R\$ 0,83	R\$ 4.190,67	CONSERVAÇÃO/MEIO AMBIENTE	R\$ 268,11	R\$ 112,57	-R\$ 2.431,19	R\$ 1.759,48
3.4	COMPOSIÇÃO	BIOMANTA EM FIBRA DE COCO	m²	2.523,25	R\$ 10,50	R\$ 26.494,13	CONSERVAÇÃO/MEIO AMBIENTE	R\$ 268,11	R\$ 112,57	-R\$ 15.370,40	R\$ 11.123,73

SOLUÇÃO C - EXECUÇÃO DE SOLO GRAMPEADO COM FACE VERDE											
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UND.	QUANT.	Preço na data base jan/2016		Preço ajustado para mai/2019				
					PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	CATEGORIA	I1	I0	R	VALOR FINAL
3.5	2 S 05 340 01 - COMPOSIÇÃO	GEOMANTA REFORÇADA	m²	2.525,75	R\$ 32,72	R\$ 82.642,54	TERRAPLANAGEM	R\$ 276,41	R\$ 320,51	R\$ 13.186,10	R\$ 95.828,64
3.6	2 S 04 002 01- SICRO2	PERFURAÇÃO ROTATIVA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA	m	6.672,00	R\$ 139,84	R\$ 933.012,48	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	R\$ 270,33	R\$ 313,44	R\$ 148.793,14	R\$ 1.081.805,62
3.7	2 S 05 900 01- COMPOSIÇÃO	EXECUÇÃO DE GRAMPOS COM AÇO CA-50 20mm REVESTIDOS COM CALDA DE CIMENTO E FIXADOS EXTERNAMENTE	m	6.672,00	R\$ 76,74	R\$ 512.009,28	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	R\$ 270,33	R\$ 313,44	R\$ 81.653,22	R\$ 593.662,50
CUSTO TOTAL DA OBRA						R\$ 1.664.398,92					R\$ 1.906.659,70

ANEXOS

ANEXO I – ÍNDICE DE REAJUSTAMENTO DE CUSTO PARA O ANO DE 2016

ANEXO II - ÍNDICE DE REAJUSTAMENTO DE CUSTO PARA O ANO DE 2019

ANEXO I – ÍNDICE DE REAJUSTAMENTO DE CUSTO PARA O ANO DE 2016



ÍNDICES DE REAJUSTAMENTO DE OBRAS RODOVIÁRIAS

Mês de Referência: Dezembro de 2016

DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES		01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16	VARIACÃO NO MÊS	ACUMULADO NO ANO	VARIACÃO NOS ÚLTIMOS 12 MESES
TERRAPLENAGEM	DEZ/2000=100	276,411	277,811	276,496	276,663	276,344	277,212	276,787	277,640	278,388	278,850	279,822	282,378	0,914	2,739	2,739
OBRAS DE ARTES ESPECIAIS	DEZ/2000=100	270,329	270,640	270,533	270,476	270,194	271,796	272,921	273,975	274,765	275,061	275,288	276,325	0,377	2,315	2,315
PAVIMENTAÇÃO	DEZ/2000=100	300,265	302,034	302,140	302,667	302,289	302,668	302,699	303,456	303,861	303,906	303,752	306,892	1,034	2,865	2,865
CONSULTORIA (Supervisão e Projetos)	DEZ/2000=100	206,784	206,103	206,392	206,336	206,788	208,638	209,867	210,212	210,386	211,327	211,325	212,132	0,382	3,210	3,210
DRENAGEM	DEZ/2000=100	277,956	278,366	278,191	278,033	277,816	280,126	281,024	281,984	282,638	283,094	283,622	285,109	0,524	2,808	2,808
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	DEZ/2000=100	271,836	274,279	274,125	275,236	276,327	276,874	277,892	280,394	281,062	283,408	284,141	284,579	0,154	5,044	5,044
PAVIMENTOS CONCRETO CIMENTO PORTLAND	DEZ/2000=100	249,031	249,150	248,445	247,214	246,527	244,793	244,169	246,521	247,532	247,303	246,161	246,165	0,002	-1,031	-1,031
CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA	DEZ/2000=100	268,106	268,578	268,559	268,646	268,497	271,405	272,519	273,564	274,347	275,160	276,080	277,217	0,412	3,560	3,560
LIGANTES BETUMINOSOS	DEZ/2000=100	395,181	394,515	400,071	402,841	403,369	439,784	440,235	441,363	443,333	446,191	412,278	411,021	-0,305	13,471	13,471
OBRAS DE ARTES ESPECIAIS (Sem Aço)	DEZ/2000=100	264,336	264,749	264,695	264,598	264,224	266,027	266,920	268,178	268,881	269,450	270,101	271,329	0,455	2,765	2,765
IGP - DI	AGO/1994=100	619,476	624,366	627,060	629,345	636,468	646,868	644,356	647,153	647,360	648,213	648,561	653,951	0,831	7,183	7,183
ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	AGO/1994=100	651,759	655,263	659,446	663,057	663,610	676,420	679,751	681,756	684,025	685,489	686,607	688,985	0,346	6,126	6,126
VERGALHÕES E ARAMES DE AÇO AO CARBONO	AGO/1994=100	678,440	676,957	674,183	671,566	676,893	683,467	686,363	686,424	687,026	679,900	672,672	670,826	-0,274	-2,206	-2,206
PRODUTOS SIDERÚRGICOS	DEZ/2007=100	124,624	124,923	123,836	123,398	126,697	130,546	133,758	135,403	135,132	134,676	135,938	139,811	2,849	10,994	10,994
PRODUTOS DE AÇO GALVANIZADO	MAR/1999=100	310,078	310,362	310,258	311,217	314,071	316,129	318,854	319,095	319,527	319,538	320,835	322,733	0,592	4,289	4,289
SINALIZAÇÃO VERTICAL	MAI/2005=100	158,114	157,884	158,267	159,635	161,557	163,155	166,311	166,330	168,007	169,312	170,860	171,463	0,353	8,430	8,430
ASFALTO DILUÍDO	DEZ/2000=100	478,811	480,413	477,746	485,532	482,510	528,864	533,712	534,243	532,597	541,308	502,773	496,973	-1,154	15,352	15,352
CIMENTO ASFÁLTICO PETRÓLEO (CAP 7 e 20)	DEZ/2000=100	395,342	397,472	403,285	405,032	400,048	444,237	447,303	447,350	446,618	450,317	416,329	414,711	-0,389	17,374	17,374
EMULSÕES (RR1C E RR2C)	DEZ/2000=100	387,412	384,324	390,403	393,540	398,872	427,862	425,830	427,827	432,397	434,056	400,596	400,019	-0,144	10,072	10,072

O reajustamento dos serviços deve ser realizado de acordo com a Instrução de Serviço nº 04/2012, publicada no Boletim Administrativo do DNIT nº 010, de 05 a 09 de Março de 2012.

ANEXO II – ÍNDICE DE REAJUSTAMENTO DE CUSTO PARA O ANO DE 2019



ÍNDICES DE REAJUSTAMENTO DE OBRAS RODOVIÁRIAS

DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES		Mês de Referência: Junho de 2019												VARIÇÃO NO MÊS	ACUMULADO NO ANO	VARIÇÃO NOS ÚLTIMOS 12 MESES
		01/19	02/19	03/19	04/19	05/19	06/19	07/19	08/19	09/19	10/19	11/19	12/19			
TERRAPLENAGEM	DEZ/2000=100	310,594	312,850	316,105	318,089	320,514	317,555							-0,923	2,409	3,146
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	DEZ/2000=100	311,364	311,659	312,535	313,158	313,440	313,704							0,084	0,718	3,513
PAVIMENTAÇÃO	DEZ/2000=100	335,406	336,128	338,210	340,424	341,315	340,976							-0,099	1,815	3,550
CONSULTORIA (Supervisão e Projetos)	DEZ/2000=100	226,409	226,117	225,755	226,119	227,136	229,966							1,246	2,029	3,073
DRENAGEM	DEZ/2000=100	304,093	304,780	305,801	306,605	306,954	308,104							0,375	1,567	3,194
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	DEZ/2000=100	302,916	302,623	308,224	308,255	309,460	309,655							0,063	2,025	3,988
PAVIMENTOS CONCRETO CIMENTO PORTLAND	DEZ/2000=100	260,896	260,751	260,342	261,516	260,675	261,392							0,275	0,317	1,703
CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA	DEZ/2000=100	296,540	297,082	298,451	299,568	300,711	301,648							0,312	2,021	3,415
LIGANTES BETUMINOSOS	DEZ/2000=100	673,943	737,938	738,095	739,556	738,354	735,844							-0,340	23,708	59,608
OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (Sem Aço)	DEZ/2000=100	305,060	305,350	306,208	307,367	307,470	310,188							0,884	1,647	4,467
IGP - DI	AGO/1994=100	697,923	706,660	714,243	720,695	723,577	728,142							0,631	4,401	6,036
ÍNDICE NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL	AGO/1994=100	749,517	750,180	752,524	755,373	755,625	762,304							0,884	2,205	3,858
VERGALHÕES E ARAMES DE AÇO CARBONO	AGO/1994=100	816,552	813,161	813,998	812,955	810,042	803,892							-0,759	-1,252	3,345
PRODUTOS SIDERÚRGICOS	DEZ/2007=100	180,062	178,932	178,858	179,070	182,881	182,805							-0,042	0,197	9,893
PRODUTOS DE AÇO GALVANIZADO	MAR/1999=100	394,555	397,598	400,920	402,438	402,572	406,130							0,884	2,965	5,650
SINALIZAÇÃO VERTICAL	MAI/2005=100	187,725	189,267	190,570	190,784	191,994	192,155							0,084	2,176	8,743
ASFALTO DILUÍDO	DEZ/2000=100	849,926	938,110	934,671	939,687	932,896	930,191							-0,290	25,517	67,140
CIMENTO ASFÁLTICO PETRÓLEO (CAP 7 e 20)	DEZ/2000=100	708,395	780,304	778,780	780,838	776,962	775,735							-0,158	26,175	72,733
EMULSÕES (RR1C e RR2C)	DEZ/2000=100	629,076	682,179	683,405	684,876	684,047	681,214							-0,414	20,674	47,293
ADMINISTRAÇÃO LOCAL	DEZ/2016=100	108,499	108,901	109,358	109,719	110,284	110,204							-0,072	1,937	3,564
MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	DEZ/2016=100	112,399	113,710	115,122	115,977	117,127	115,904							-1,044	3,465	5,446
OBRAS COMPLEMENTARES E MEIO AMBIENTE	DEZ/2016=100	110,364	110,909	111,467	111,745	112,566	112,056							-0,453	1,704	3,226
ÍNDICE DE EMULSÃO ASFÁLTICA MODIFICADO	Dez/2018=100	107,762	114,213	114,632	114,915	115,110	114,417							-0,602	14,417	-
ÍNDICE DE ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	Dez/2018=100	110,173	118,462	118,608	118,838	118,683	118,227							-0,384	18,227	-
ÍNDICE DE EMULSÃO ASFÁLTICA DE IMPRIMAÇÃO	Dez/2018=100	106,918	113,020	113,775	115,819	116,720	115,486							-1,057	15,486	-
ÍNDICE DE ASFALTO BORRACHA	Dez/2018=100	111,645	120,669	120,242	120,391	120,336	119,963							-0,310	19,963	-

O reajustamento dos serviços deve ser realizado de acordo com a Instrução de Serviço nº 01/2019, publicada no Boletim Administrativo do DNIT nº 004, de 07 de Janeiro de 2019.