

APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS NA GEOTECNIA AMBIENTAL: ANÁLISE DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS (1999 a 2018).

Lígia Raquel Rodrigues Santos¹, Leonete Cristina Araújo Ferreira Medeiros Silva²

Resumo: A chegada dos geossintéticos revolucionou diversos aspectos do projeto e da construção de obras geotécnicas e, em especial, das obras destinadas à proteção ambiental. Os requisitos de qualidade, segurança e vida útil das construções exigidas pelo mercado, têm limitado a utilização de materiais comuns da engenharia. Por estas razões, principalmente quando associadas a aspectos ambientais, devido à agressividade do meio (solos e corpos d'água subterrâneos) em que estas obras estão sujeitas, e a necessidade da melhoria da qualidade e redução dos custos, vêm provocando o grande aumento da utilização de materiais sintéticos em geotecnia. O objetivo principal deste trabalho foi identificar como se deu a aplicação de geossintéticos na geotecnia ambiental nos últimos 20 anos. Neste estudo efetuou-se uma pesquisa bibliográfica no domínio da utilização de geossintéticos em obras de: Aterros Sanitários, controle de erosão, drenagem e filtração. Ao final, após realizada análise bibliográfica dos dados, observou-se que o número de produções indexados da pesquisa entre o período de 2014-2018 foi entorno do quádruplo do registrado em 1999-2003, corroborando com o fato que aumento de interesse em estudar as propriedades dos geossintéticos esta aliada a crescente utilização dos mesmo no mercado atual. Outro aspecto importante identificado foi o crescente estudo em controle de erosão, superior as demais obras geotécnicas.

Palavras-chave: Geossintéticos; Geotecnia ambiental; Obras Geotécnicas;

1. INTRODUÇÃO

O advento dos geossintéticos revolucionou diversos aspectos do projeto e da construção de obras geotécnicas e, em especial, das obras destinadas à proteção ambiental [1]. Nessas obras, é muito comum o uso de geossintéticos, devido ao perfeito funcionamento deste sistema de impermeabilização.

Segundo Nascimento [2] outras características importantes levantadas geralmente por engenheiros geotécnicos relacionados às propriedades dos geossintéticos em situação atual que são encontrados no mercado, além de impermeabilizante, destacam-se por atender satisfatoriamente em resistência mecânica, fluência, rigidez a tração e durabilidade. Desta forma percebe-se algumas das várias vantagens de utilizar-se esse tipo de sistemas na construção de obras geotécnicas.

São exemplos de obras geotécnicas ambientais: taludes, muros de contenção, aterros, pavimentação entre outras. A necessidade de aderir a essa tecnologia, que não é nova, mas que está em continuo aperfeiçoando, principalmente tratando-se da área ambiental, partiu-se da premissa do alto custo com materiais para atender o fator de segurança, tornando estas obras faraônicas, com maior tempo de construção, e grandes cuidados na manutenção das mesmas. Sendo que as mesmas com o uso de geossintéticos atenderiam aos mesmos requisitos de segurança e durabilidade, com menos tempo, recursos e praticidade.

O objetivo principal deste trabalho é identificar de como se deu a aplicação de geossintéticos na geotecnia ambiental nos últimos 20 anos. Neste estudo efetua-se uma pesquisa bibliográfica no domínio da utilização de geossintéticos em obras de: Aterros sanitários, Controle de erosão e Drenagem e filtração.

Sob esses aspectos, é de primordial importância a avaliação de como se deu a inserção gradativa de geossintéticos em obras ambientais nos últimos 20 anos. Assim, é imprescindível avaliar de que forma a utilização de materiais sintéticos contribui positivamente nas obras de geotecnia ambiental.

2. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção serão apresentadas as informações básicas dos geossintéticos, principalmente a sua história, classificação, funções e aplicações, e uma revisão bibliográfica da aplicação de geossintéticos na Geotecnia Ambiental nos últimos 20 anos.

2.1 Revisão histórica do surgimento dos Geossintéticos

Segundo KOERNER [3], os geossintéticos aparecem na história da construção com as primeiras tentativas de reforço de solos utilizadas para estabilização de solos pantanosos com troncos de árvores e pequenos arbustos. Estas aplicações datam de 3.000 a.C. e avançaram com o surgimento da estabilização de vias pela mistura de solos ou pavimentação com blocos de pedra.

A primeira referência da aplicação de tecidos na construção (reforço de pavimentos de estradas nos Estados Unidos) data de 1926. No entanto, os geossintéticos só começaram a ser usados de forma sistemática no meio do século XX, após o aparecimento dos polímeros sintéticos na década de 40 [4].

VIOLANTE [5] descreve que a evolução do reforço de solos levou ao começo da produção de geossintéticos na década de 50, devido ao surgimento dos polímeros sintéticos na década anterior. Os geossintéticos começaram então a ser utilizados devido a conversão da indústria têxtil na Holanda na década de 60. Mas foi nos anos 70 que os geossintéticos se estabeleceram como material de construção, com o aparecimento dos geotêxteis não-tecidos agulhados.

Em Portugal, os geossintéticos começaram a ser aplicados regularmente desde 1980, principalmente em obras hidráulicas e viárias. No entanto, foi a partir de meados da década de 90 que ocorreu um grande impulso na aplicação e na procura de conhecimentos sobre geossintéticos [6].

SEGUNDO PINHO-LOPES E LOPES [7] o termo geossintético foi introduzido por J. E. Fluet Jr. para designar os novos produtos aplicados em obras de construção civil. Mas só em 1994, no “Congresso Internacional de Geotêxteis, Geomembranas e Produtos Afins”, realizado em Singapura, a “Sociedade Internacional de Geotêxteis e Produtos Afins” aclamou universalmente o termo geossintético ao adotar a denominação de “Sociedade Internacional de Geossintéticos”. Desde então o termo geossintético é usado para designar materiais fabricados com produtos sintéticos ou não.

De acordo com **KOERNER** [3], as razões que impulsionaram o grande e rápido progresso dos geossintéticos foram: são fabricados em ambientes controlados; podem ser instalados de forma rápida e eficaz; podem evitar o recurso a matérias-primas (possibilidade de serem utilizados materiais reciclados); evitam o recurso a estruturas com difícil dimensionamento; sua utilização é mais econômica do que recorrer a soluções mais tradicionais; tornam possível a construção em solos que normalmente não seriam considerados adequados; são introduzidos a preços competitivos no mercado.

2.2 Geossintéticos aplicados na Geotecnia Ambiental

De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS) [8], o geossintético é um material polimérico sintético ou natural. Apresentam-se na forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental. Por sua versatilidade, os geossintéticos permitem aos fabricantes disponibilizar continuamente novos produtos, com propriedades específicas que melhor atendam às necessidades de cada projeto. É uma das tecnologias mais avançadas mundialmente, uma vez que há um processo contínuo de melhora do desempenho dos produtos existentes, baseado em pesquisas e na observação do comportamento do geossintético na obra.

Segundo **CARNEIRO** [9] os geossintéticos já vêm sendo amplamente aplicados nas mais diversas obras de construção civil. Cujas principais razões de seu uso em grande escala com o passar do tempo incluem suas vantagens técnicas (rapidez e simplicidade de aplicação; grande gama de produtos para os mais variados fins), econômicas (baixo custo) e ambientais (baixo impacto ambiental). Desta forma, os geossintéticos tornaram-se uma excelente alternativa aos materiais de construção tradicionais.

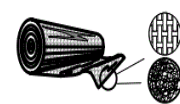
As aplicações dos materiais geossintéticos são muito vastas, visto que ao longo dos anos, todas as culturas e profissões buscam o entendimento e aplicação de suas funções nas mais diversas áreas. De acordo com **DA COSTA** [10] os geossintéticos podem ser aplicados na agricultura, em ferrovias, rodovias, projetos hidráulicos, drenagens, aterros sanitários, estradas onde ainda não advém de pavimentação asfáltica, pavimentação asfáltica, entre outras. De forma geral, o uso de geossintéticos pode permitir diminuir de forma significativa volumes de aterros em taludes, estradas, rodovias, e resolver muitos problemas hidráulicos, pode substituir ou complementar materiais convencionais e suprir a deficiências em logística, com isso, pode-se reduzir prazos de obras, assim como reduzir custos comparados às soluções convencionais.

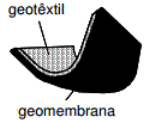
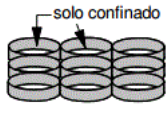
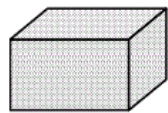
VIOLANTE [5] ressalta que o desenvolvimento da indústria dos geossintéticos nos últimos anos levou a um aumento da oferta e investimento nos mais diferentes tipos de materiais como: geotêxteis (tecidos, não-tecidos e tricotados), geogrelhas, georredes, geomembranas, geocompósitos, entre outros. Por conseguinte, houve uma ampliação das funções dos geossintéticos, como: drenagem, filtração, proteção, reforço, separação, controle de erosão superficial e barreira de fluídos. O estudo que vem sendo realizado nos últimos anos desses materiais, permitiu que fosse possível compreender melhor o comportamento nas estruturas onde são aplicados, proporcionando construções de estruturas mais eficientes.

2.3 Classificação dos Geossintéticos

A Sociedade Internacional de Geossintéticos [8] classifica genericamente os geossintéticos em categorias dependendo do processo de fabricação, cujas denominações usuais e breves descrições dos geossintéticos (Ver Quadro 1).

Geotêxteis são mantas contínuas de fibras ou filamentos, tecidos, não tecidos, tricotados ou costurados. As mantas são flexíveis e permeáveis. Geotêxteis são usados para aplicações de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões.

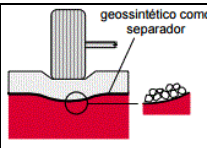
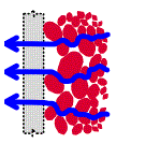
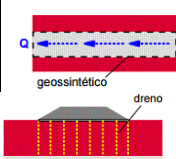


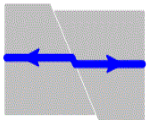
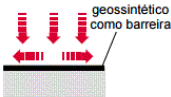
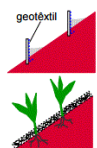
Geomembranas são mantas contínuas e flexíveis constituídas de um ou mais materiais sintéticos. Elas possuem baixíssima permeabilidade e são usadas como barreiras para fluidos, gases ou vapores.	
Georredes são materiais com aparência semelhante à das grelhas formados por duas séries de membros extrudados paralelos, que se interceptam em ângulo constante. Possui alta porosidade ao longo do plano, sendo usada para conduzir elevadas vazões de fluidos ou gases.	
Geogrelhas são materiais geossintéticos com forma de grelha. A principal aplicação das geogrelhas é em reforço de solos.	
Geocompostos são geossintéticos formados pela associação de dois ou mais tipos de geossintéticos como, por exemplo: geotêxtil-georrede; geotêxtil-geogrelha; georrede-geomembrana ou geocomposto argiloso (GCL). Geocompostos drenantes pré-fabricados ou geodrenos são constituídos por um núcleo plástico drenante envolto por um filtro geotêxtil.	
Geocélulas são arranjos tridimensionais relativamente espessos, constituídos por tiras poliméricas. As tiras são soldadas para formar células interconectadas que são preenchidas com solo e, às vezes, concreto. Em alguns casos, faixas de 0,5 a 1m de largura de geogrelhas podem ser ligadas por hastes poliméricas verticais para se formar geocélulas mais espessas, também denominadas “geocolchão”.	
Geoexpandido são blocos ou placas produzidos por meio da expansão de espuma de poliestireno para formar uma estrutura de baixa densidade. O geoexpandido é usado para isolamento térmico, como um material leve em substituição a aterros de solo ou como uma camada vertical compressível para reduzir pressões de solo sobre muros rígidos.	
Geotubos são tubos poliméricos perfurados ou não usados para drenagem de líquidos ou gases (incluindo coleta de chorume ou gases em aplicações de aterros sanitários). Em alguns casos o tubo perfurado é envolvido por um filtro geotêxtil.	

Quadro 1: Descrição da classificação dos geossintéticos (International Geosynthetic Society – IGS).

2.4 Função dos Geossintéticos

Segundo a IGS [8] é conveniente identificar que as funções primárias do geossintéticos, em um contexto geral são: separação, filtração, drenagem, reforço, contenção de fluidos/gases, ou controle de processos erosivos. Sendo que geossintético não desempenha uma função isolada, em muitos casos os mesmos podem desempenhar dupla função (Quadro 2).

Separação: O geossintético atua na separação de duas camadas de solo que têm distribuições de partículas diferentes. Por exemplo, geotêxteis são usados para evitar que os materiais da base penetrem no solo mole de camadas subjacentes, assim mantendo a espessura da camada de projeto e a integridade da estrada. O geossintético também auxilia na prevenção do “bombeamento” de finos para o interior da camada granular permeável das estradas	
Filtração: O geossintético desempenha papel similar a um filtro de areia, permitindo a livre passagem de água através do solo enquanto retém as partículas sólidas. Por exemplo, geotêxteis são empregados para evitar a migração do solo para dentro do agregado drenante ou de tubulações, enquanto mantém o fluxo do sistema. Geotêxteis são também utilizados abaixo de “rip-rap” e de outros materiais em sistemas de proteção costeira e de rios para prevenir a erosão do solo.	
Drenagem: O geossintético age como um dreno que carrega o fluido através de solos com menor permeabilidade. Por exemplo, geotêxteis são utilizados para dissipar poro-pressão na base de aterros rodoviários. Para fluxos mais elevados, drenos geocompostos foram desenvolvidos. Esses materiais têm sido utilizados como drenos laterais de pavimentos, drenos de taludes e drenos de aterros e muros de contenção. Drenos verticais pré-fabricados (DVP's) têm sido utilizados para acelerar a consolidação do solo mole de fundações de aterros. aplicação das geogrelhas é em reforço de solos.	

Reforço: O geossintético atua como elemento de reforço inserido no solo ou em associação com o solo para a melhoria das propriedades de resistência e de deformação do solo natural. Por exemplo, geotêxteis e geogrelhas são usados para acrescentar resistência à tração na massa de solo de forma a possibilitar paredes de solo reforçado verticais ou aproximadamente verticais. O emprego do reforço possibilita a construção de aterros sobre fundações de solos extremamente moles, bem como a de muros íngremes improváveis de serem viabilizados em solos não-reforçados. Geossintéticos (geralmente geogrelhas) têm sido também usados para sobrepassar vazios que podem se desenvolver sob carregamentos em camadas granulares (estradas e autoestradas) ou sob sistemas de cobertura de aterros sanitários.	
Contenção de Fluidos/Gases (barreira): O geossintético atua como uma barreira relativamente impermeável a fluídos e gases. Por exemplo, geomembranas, geocompostos, geocompostos argilosos (GCL's) e geotêxteis revestidos são empregados como barreiras para impedir o escoamento de líquidos e gases. Além disso, podem ser utilizados na capa asfáltica de pavimentos, no envelopamento de solos expansivos e na contenção de resíduos.	
Controle de Processos Erosivos: O geossintético trabalha para reduzir os efeitos da erosão do solo causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial da água. Por exemplo, mantas ou colchões de geossintéticos, temporários e permanentes, são dispostos ao longo do talude. Barreiras de geotêxtil são também usadas na retenção de sedimentos carregados durante o escoamento superficial. Algumas barreiras de controle de processos erosivos são fabricadas com materiais biodegradáveis.	

Quadro 2: Descrição das funções dos geossintéticos (International Geosynthetic Society – IGS).

2.5 Aplicação de Geossintéticos

A Figura 1 mostra que segundo norma EN ISO 10318:2005 [11], algumas das principais aplicações dos Geossintéticos são elas:

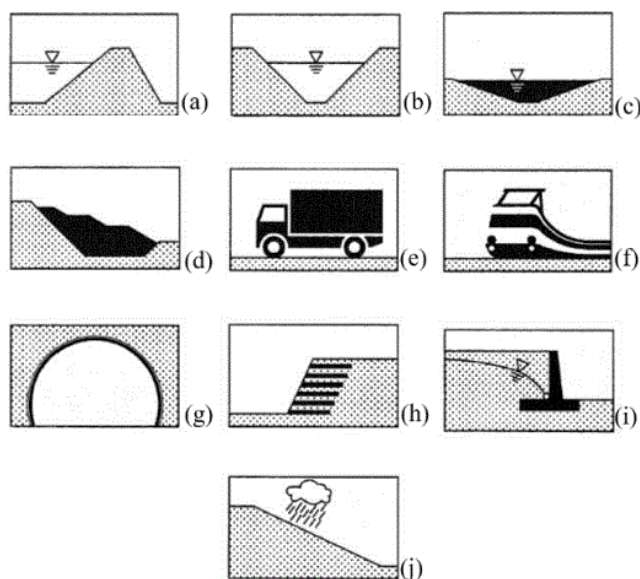


Figura 1: Principais aplicações dos geossintéticos de acordo com a EN ISO 10318 – a) reservatórios e barragens; b) canais; c) depósitos resíduos líquidos; d) depósitos de resíduos sólidos; e) obras rodoviárias; f) obras ferroviárias; g) tuneis e estruturas subterrâneas; h) fundações; i) drenagem; j) controle de erosão (EN ISO 10318:2005 Geossintéticos).

2.6 Revisão da aplicação de Geossintéticos na Geotecnia Ambiental nos últimos 20 Anos

A crescente utilização dos produtos sintéticos na engenharia geotécnica é um fenômeno mundial devido os diversos benefícios que esses materiais agregam a construção. Mas por ser um sistema cujas propriedades encontra-se em constante aperfeiçoamento para atender sempre necessidades dos usuários e suas finalidades, é um produto que não deixa de ser tendência no mercado, e cada dia mais usado em obras de engenharia, ate pelo mesmo já ser obtido de forma acessível no mercado pelas vantagens de sua utilização, associado à facilidade da sua aplicação e à contribuição para a redução do impacto ambiental.

Nessa seção será feita uma análise histórica dos últimos 20 anos de alguns estudos de casos das características e aplicação dos Geossintéticos verificados em publicações brasileiras, de forma que seja possível observar a evolução das propriedades desse material nas obras da Construção civil.

2.6.1 Aterro Sanitário

Geossintéticos são largamente utilizados em projetos de aterros sanitários, principalmente para compor barreiras contra fluxos de base e reforço. Segundo BORGATTO [12] os sistemas de tratamento em aterros, são feito de modo a minimizar uma possível contaminação do solo e água subterrânea devido ao chorume, líquido gerado pelos resíduos do aterro, e estabilização de taludes.

MELLO [13] conta que antigamente os sistemas impermeabilizantes eram compostos unicamente por solos argilosos compactados, geralmente sem nenhum controle de qualidade. Tal fato levou a diversas agências ambientais de vários países, passar a dar atenção aos sistemas construtivos, de modo que os mesmos definiram diretrizes para a construção, chamadas liners. Liners são estruturas compostas formada de materiais naturais e/ou sintéticos com o objetivo principal de minimizar os danos ambientais provocados pela disposição de resíduos. Hoje, ver-se o resultado visível desse fato na melhoria na qualidade e o desenvolvimento de novas técnicas geralmente ligadas à utilização de geossintéticos.

NASCIMENTO [14] conta que os sistemas de impermeabilização com geossintéticos são justamente utilizados em situações que possam apresentar riscos ambientais, como na contenção de líquidos ou gases poluentes. Uma dos métodos mais utilizados para contenção em aterros é a geomembrana, este sistema atua como elemento de barreira, cuja função deste material é não possibilitar o transporte de material através de sua espessura e, por isso, é imprescindível entender os fatores que geram e controlam este processo, ou seja, o tipo e concentração das substâncias, a forma e a regularidade de chegada destes materiais, além de se conhecer as condições ambientais sobre e sob o produto sintético. A geomembrana deve garantir a estanqueidade da obra reduzindo, de acordo com as necessidades do projeto, a passagem da água ou de produtos tóxicos durante toda sua vida útil. Esta situação deve ser mantida ao longo de toda a sua área, e também garantida ao longo de toda emenda ou junta realizada, tanto na união de painéis, como nos pontos de interligação com tubos e drenos. A geomembrana deve ser quimicamente compatível com rejeitos a serem estocados e resistentes mecanicamente do ponto de vista do projeto geotécnico.

Além das geomembranas, outro sistema impermeabilizante que vem sendo utilizado nos últimos anos são os Geocompostos bentoníticos (GCLs), cujo uso tem sido crescente nessas obras devido a vantagens como: melhor controle de qualidade dos materiais, facilidade e rapidez de instalação aumento do volume útil dentro das células de disposição de resíduos, entre outras [15].

MENDES, PALMEIRA E PIERSON [16] completam que a eficiência dos GCLs como barreira de gases e líquidos foi estudada por diversos autores, o que confirma a aplicabilidade desse sistema. Daí a importância de estudar e avaliar os diversos aspectos dos GCLs em barreiras de gases e em ensaios como: o comportamento do material quando submetido a diferentes solicitações, sua compatibilidade com produtos químicos, mudanças de estrutura da bentonita quando submetida a ciclos de hidratação e secagem, eficiência dos GCLs quando submetidos à pré-hidratação ou não, redução da permeabilidade quando uma sobrecarga é aplicada durante a hidratação, entre outros. Além disso, também vem sendo estudado outros aspectos relacionados às características e propriedades dos GCLs como: a influência do tipo de bentonita (em pó ou granular), aumento ou redução da transmissibilidade da interface com a geomembrana em função do tipo de geotêxtil de cobertura do GCL, influência do processo de manufatura do GCL no seu desempenho, etc.

DA COSTA [10] conta de além de barreira impermeabilizante os geossintéticos também são amplamente utilizados em aterro para a melhoria da estabilidade de aterros, atuando este como reforço de solos. Em tais situações, os geossintéticos podem ser efetivamente utilizados para: reduzir os deslocamentos de solos moles devido a sua baixa capacidade de carga, prevenir ruptura global do aterro e do solo mole de fundação. Quando o principal objetivo é o reforço deve-se avaliar a interação entre o solo e o geossintético, no qual essas características são expressas em termos de resistência, pelos parâmetros de interface adesão e ângulo de atrito de interface solo-geossintético, obtidos através de ensaios de campo ou de laboratório.

MENESES [17] aponta que um exemplo de outro produto aplicado para reforço que vem sendo usado é a Geocélula, cujo confinamento proporciona resultado em um acréscimo de resistência ao cisalhamento do solo preenchido. Vale ressaltar que esse ganho é de extrema importância quando se deseja melhorar a capacidade de carga do solo.

Além de impermeabilizantes e reforço de solo, os geossintéticos podem ser aplicados em aterros sanitários para sistema de drenagem/filtração e também separação de matérias. A Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS) mostra que os principais produtos aplicados em aterros são as geomembranas e geogrelhas, mas recentemente vem sendo utilizados os Geocompostos bentoníticos, geotexteis, geotubos, geo-outros, por suas diversas funções em aterros descritas abaixo, como:

- Geogrelhas, que podem ser usadas para reforçar taludes abaixo dos resíduos assim como para reforçar os solos de cobertura sobre geomembranas;
- Georredes, que podem ser usadas como colchão drenante;

- Geomembranas, que são mantas relativamente impermeáveis feitas de materiais poliméricos, podendo ser usadas como barreiras para líquidos, gases e/ou vapores;
- Geocompostos, que consistem na combinação de dois ou mais geossintéticos, podendo ser usados para separação, filtração ou drenagem;
- Geocompostos argilosos (GCL's), que são combinações de bentonita e geossintéticos, e que podem ser usados como barreiras hidráulicas e contra infiltrações;
- Geotubos, que podem ser usados em aterros sanitários para facilitar a coleta e drenar rapidamente o chorume, conduzindo-o para um sistema de tratamento;
- Geotêxteis, que podem ser usados para filtração ou como colchão para proteger a geomembrana contra danos.

➤ **Estudo de caso 1: Análise em campo e laboratório**

O objetivo principal desse trabalho de MELLO [13] foi verificar a aplicabilidade do equipamento de plano inclinado no estudo de interfaces solo-geossintético e geossintético-geossintético em taludes íngremes com geomembranas. No estudo de Mello [13], foram monitoraram o desempenho de três sistemas de cobertura de taludes experimentais, submetidos a uma precipitação simulada. Os sistemas de cobertura tinham a seguinte configuração:

- Talude A: geotêxtil/georrede/ geomembrana rugosa;
- Talude B: geotêxtil/georrede/geotêxtil/geomembrana rugosa e
- Talude C: geotêxtil/georrede/geomembrana lisa.

Todos os taludes eram recobertos por uma camada de solo de cobertura com 0,60 m de espessura. Os taludes eram inclinados a 18,4°, com um comprimento de 52,7 m. Os autores observaram a movimentação dos geossintéticos durante e após a construção dos taludes, embora a camada de solo tenha permanecido estável. Estudando o comportamento da camada de solo sobre geossintéticos em taludes, pode-se fazer uma analogia, embora preliminar, no cálculo da estabilidade com a condição de talude infinito.

Os maiores deslocamentos foram observados no Talude C. A geomembrana foi parcialmente arrancada da ancoragem no topo do talude. No Talude A, a geomembrana não apresentou nenhum deslocamento significativo. O talude que resultou em menores deslocamentos foi o Talude B, mostrando a eficiência da colocação do geotêxtil entre a georrede e a geomembrana. Concluiu-se que dois fatores são importantes na estabilidade de um sistema de proteção de talude: a rugosidade da geomembrana e a utilização de uma camada de aderência sobre a geomembrana a fim de se evitar deslocamentos excessivos.

Em laboratório foi realizado os ensaios de plano inclinado utilizado de um equipamento desenvolvido no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília pelo Prof. Ennio Marques Palmeira. Basicamente, é composto por uma estrutura metálica com uma rampa livre em uma de suas extremidades e rotulada na outra. Dessa forma a inclinação da rampa é feita com o auxílio de uma talha, que nada mais é que um sistema de roldanas com a função de minimizar o esforço de levantamento.

Para a realização dos ensaios foram utilizados diversos geossintéticos e dois tipos de solo, areia e argila. Os materiais sintéticos utilizados nas amostras foram: Geotêxtil Não Tecido (BIDIM OP-30), Geotêxtil Tecido (PROPEX 4004), Geogrelha (FORTRAC 110) e Geomembranas de PVC (SANSUY-VINIMANTA), HDPE lisa e HDPE Texturizada (ENGEPOL), todas com 1 mm de espessura.

O ângulo de atrito da interface está diretamente ligado à rugosidade da interface do geossintético. Nos ensaios com uma camada de geossintético os menores valores de ângulo de atrito observados foram para interfaces entre geomembranas lisas (HDPE e PVC) e areia. Os geossintéticos com superfícies mais rugosas, como o geotêxtil não tecido e a geomembrana texturizada, resultaram nos maiores valores de ângulos de atrito da interface. A interface entre geotêxtil tecido e areia obteve um valor de ângulo de atrito da interface intermediário.

Ao final do estudo campo e laboratório, MELLO [13] concluiu que as geomembranas rugosas apresentaram uma grande potencialidade de utilização em locais onde grandes deslocamentos são esperados, além de ser um material que se adapta melhor a terrenos irregulares.

➤ **Estudo de caso 2: Análise da resistência a danos mecânicos em obras de disposição de resíduos**

O trabalho de NASCIMENTO [14] teve o objetivo principal de avaliar a resistência do geossintéticos a danos mecânicos em obras de disposição de resíduos. Visto que sua aplicação em solos agressivos e obras de proteção do meio ambiente, sobretudo em reservatórios ou barragens de rejeitos industriais ou de mineração, podem colocar estes materiais sintéticos em situações de grande risco.

Durante a instalação do geossintético e posteriormente durante a vida útil da obra, as geomembranas estão sujeitas a uma série de esforços, como as decorrentes de solda, esforços de tração, puncionamento, rasgo, variações de temperatura, dentre outros, que podem vir a modificar a estrutura deste material sintético. Sabendo disto, os ensaios de dano mecânico por compressão, torna possível a análise do comportamento destes sistemas mediante solicitações pré-determinadas em laboratório simulando condições reais de carregamentos em obras de disposição de resíduos.

Foram realizados 10 ensaios para calibração e controle do equipamento, além de 3 repetições para cada análise de tensão associada a uma espessura de geomembrana, resultando em aproximadamente 100 ensaios de dano mecânico por compressão.

O equipamento (Figura 3) utilizado nesta pesquisa foi projetado e construído na Universidade de Brasília. O equipamento permite a aplicação de tensões de até 2000kPa sobre a amostra ensaiada, podendo ainda ser adaptado para carregamentos maiores. A amostra de geossintético a ser ensaiada pode ser colocada sobre uma base rígida ou sobre solo abaixo da placa rígida de aplicação de tensões normais.



Figura 3 – Equipamento para ensaio de dano mecânico montado (Nascimento, 2002).

Apesar da intensidade das deformações da superfície da geomembrana nos ensaios, não foram detectados danos significativos que comprometessem a sua estanqueidade como barreira para fluidos para os materiais granulares utilizados para o tipo e duração dos ensaios realizados.

A presença de camada de proteção de geotêxtil de baixa gramatura sobre a geomembrana reduziu significativamente as deformações desta nos contatos grãos geomembrana. Isto enfatiza a necessidade de utilização deste tipo de camada de proteção entre solos granulares e geomembranas, particularmente quando se tem em mente a vida útil esperada para obras de disposição de resíduos

➤ *Estudo de caso 3: Análise de transmissibilidade*

O objetivo do trabalho de MENDES [16] foi estudar a permeabilidade ao gás de diferentes tipos de GCLs em condições típicas de barreiras na cobertura de aterros sanitários e o transporte de líquidos através de barreiras compostas por geomembranas, GCLs em condições típicas do fundo dos aterros sanitários.

Para isso pesquisa realizada por MENDES [16] abrange influência do tipo de GCL na barreira de cobertura ou de fundo dos aterros sanitários por meio de ensaios de laboratório que simulem as condições de solicitação em campo.

Foram selecionados cinco GCLs, vindos de dois fabricantes diferentes, com bentonitas sódica natural, cálcica natural ou cálcica ativada, para verificar a influência das características dos GCLs na sua eficiência quando instalados na cobertura de aterros sanitários (funcionando como barreira de gases), ou no fundo de aterros sanitários em conjunto com argila compactada e geomembrana (funcionando como barreira de líquidos). De forma geral os GCLs foram testados quanto à sua permeabilidade ao gás e quanto à transmissibilidade da interface com a geomembrana danificada.

Para os ensaios a sua permeabilidade ao gás, foram utilizados um permeâmetro. O ensaio consiste em uma célula cilíndrica (Figura 4). O corpo de prova do GCL fica confinando entre duas camadas de material granular. O sistema de carregamento permite a aplicação de pressões normais que variaram de 20 a 80 kPa.

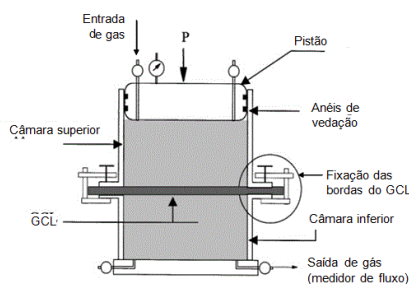


Figura 4 – Célula de permeabilidade ao gás de GCLs (Didier et al., 2000).

Para se analisar a transmissibilidade da interface, simulou-se o fundo dos aterros sanitários, os ensaios de fluxo através de barreiras compostas GCL conduzidos em um equipamento que permite medir a vazão através de uma barreira composta devido a um furo na geomembrana. O equipamento permite simular as condições típicas do fundo de aterros sanitários no que diz respeito a cargas hidráulicas e pressões confinantes.

Ao final dos ensaios obteve-se que ensaios de permeabilidade indicam que a natureza da bentonita influencia de forma significativa o teor de umidade, necessário para atingir certa eficiência do GCL como barreira de gás. GCLs com bentonitas cálcicas precisam de menores valores de teor de umidade para atingir certa permeabilidade,

comparados aos GCLs compostos por bentonita cálcica ativada e sódica natural. No ensaio de transmissibilidade, não foram verificadas diferenças significativas dos valores de transmissibilidade para ensaios feitos com GCLs diferentes, apesar da diferença de três ordens de magnitude nos valores de condutividade hidráulica dos mesmos.

2.6.2 Controle de Erosão

A erosão é um processo natural e contínuo, causado devido ao desgaste e destruição das rochas da superfície terrestre, influenciado por fatores tais como: água, vento, variações de humidade, cobertura vegetal, topografia, atividade humana, entre outras. De modo que tais fatores podem ser acelerados pelas diversas atividades de uso e ocupação do solo.

Existem muitos tipos de erosão, as mais comuns são: fluvial, eólica, glaciária, costeira, submarina, remontante, diferencial, cárstica e antrópica. Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos [8], o processo erosivo pode causar danos de grandes proporções ao solo, como é o caso das Voçoroca. Na tentativa de resolver alguns problemas, a engenharia civil inovou em técnicas, processos e produtos, como é o caso dos geossintéticos. Abaixo segue alguns casos onde o geossintético podem ser empregados no controle de erosão, são eles: Proteção de taludes, canais, valas de drenagem, vias navegáveis, proteção costeira, recuperação de áreas degradadas, reflorestamento, proteção contra ravinamento, barreiras contra queda de blocos de rocha, represas, diques, Aterros entre outros.

No caso de controle de erosão os geossintéticos são usados principalmente para estabilização e reforço do solo. Segundo GARCEZ [18] os mais utilizados para obras que atendem essa finalidade são as geogrelhas e geotêxteis. A concepção de reforço é baseada justamente na sua característica de resistir às tensões cisalhantes do elemento estrutural, no qual o geossintético atua absorvendo parte dessas tensões imposta ao solo.

MARTINS [19] explica que os geossintéticos são caracterizados pela natureza do polímero, pelo arranjo textural entre as fibras e/ou filamentos, pela tecnologia de fabricação e pelas suas aplicações geotécnicas. Ao serem contidos em uma massa de solo sob a forma de diferentes produtos (filamentos, tiras, mantas, grelhas, etc), promovem uma redistribuição global das tensões e das deformações em um maciço de solo reforçado. Em função da natureza distinta entre os geossintéticos, a interação com o solo adjacente e os mecanismos de ruptura e de deformabilidade de estruturas de solos reforçados com estes materiais envolvem tratamentos diferenciados e específicos. Os geotêxteis, por exemplo, apresenta a vantagem de também atuar como elemento separador, isso devido sua capacidade de conduzir a água durante a consolidação da obra, acelerando recalques e facilitando a drenagem.

FARIAS et al. [20] verificou a aplicabilidade dos geotêxteis para recuperação de processos erosivos pela incrementação de um sistema para recuperação de ravinas e voçorocas com a instalação de barramentos inseridos transversais à erosão. O estudo buscou avaliar a viabilidade da utilização do sistema para recuperação de ravinas e/ou voçorocas com a instalação dos barramentos, ao longo do talvegue, com o intuito de reter os sedimentos produzidos a montante.

TEIXEIRA [21] conta que as primeiras aplicações das grelhas como elementos de reforço de solo, foram empregadas as grelhas metálicas. As metálicas eram mais susceptíveis à corrosão, principalmente quando em contato com elementos agressivos, desta forma sendo a mesma menos eficiente. Devido essa limitação, a indústria passou a investir no desenvolvimento de grelhas a partir de materiais poliméricos que, sendo relativamente inertes, podem ser usados em ambientes agressivos. Além disso, as geogrelhas poliméricas também oferecem uma boa interação com o solo, que é resultante de um efeito conjugado do atrito entre solo e superfície da geogrelha e a resistência passiva oferecida pelo solo aos seus elementos transversais.

BUENO E NETO [22] mostra que além do geossintéticos já mencionado, outra possível utilização para compor uma estrutura de solo reforçado que vem sendo bastante estudada e em crescente utilização nos últimos anos é a geocélula. Esse sistema possui plenas condições de, em associação com o solo, estabilizar encostas e compor muros de gravidade. A geocélula utiliza de sua capacidade de confinamento tridimensional para compor uma estrutura resistente e com propriedades interessantes na estabilização de maciços de solo.

FRANÇA E PEREIRA [23] realizaram um estudo de caso em uma obra para “Recuperação de talude na unidade da U.S. Farmacopéia – Barueri/SP”. Mostrou um caso de recuperação de um talude onde a versatilidade dos geossintéticos se sobressai. Nesta obra foi realizada a recomposição de um talude após a ocorrência de deslizamento de solo. Foram empregados cinco tipos diferentes de geossintéticos neste projeto (geotêxtil tecido, geotêxtil não tecido, geocomposto drenante, geocélula e geotubo) trabalhando simultaneamente desenvolvido para atender ao principal requisito exigido pelo proprietário da obra: recuperação da geometria original. Na recuperação destacaram-se, os geotêxteis atuando como barreira impermeabilizante e geocélulas empregadas com a função de controle de erosão superficial e reforço.

Assim, percebe-se que, além das funções clássicas descritas para cada geossintético, podem ser encontrados novos usos para esses materiais, a depender da situação a ser solucionada com o respectivo projeto.

➤ **Estudo de caso 1: Solos reforçados com geotêxteis**

O objetivo do estudo de MARTINS [19] foi avaliar o estudo de casos de três obras em solos reforçados com geotêxteis executadas pelo DER/MG, são elas: encontros do viaduto da mg 123 sobre a estrada de ferro vitória-minas, aterro reforçado da variante da ingá (BR 381 – rodovia fernão dias), aterro reforçado da MG 030 (rodovia belo horizonte-nova lima). Para isso, foram estudados os métodos de dimensionamento de estruturas de solos reforçados com geotêxteis fazendo-se a:

- Análise da estabilidade externa;
- Análise da estabilidade interna;
- Análise da estabilidade global e/ou local;
- Análises de deformabilidade;
- Programas computacionais utilizados pelo DER/MG;
- Programa computacional utilizado no dimensionamento das estruturas de solos reforçados com geotêxteis.

O próximo passo foi caracterização os solos, utilizados nas estruturas de reforço analisadas, (5- a,b,c e d):



Figura 5 – a) Obra 1: Amostras da areia fina micácea e do geotêxtil não tecido Santa Fé, b) Obra 2: Amostras do síter e do geotêxtil não tecido OP 60, c) Obra 2: Amostras do minério “in situ” e do geotêxtil tecido Amoco 2044, d) Amostras do solo residual de itabirito (SRI) e do geotêxtil tecido Amoco 2010 (Martin, 2000).

Os ensaios geralmente adotados na avaliação do desempenho solo/reforço devem levar em consideração as condições reais de campo. A interação solo/geossintético é usualmente complexa e depende, não só do tipo e das características do reforço, mas também das características do solo envolvente, do nível de tensão atuante no reforço, além do número e disposição dos reforços.

A interação solo/geossintético foram avaliadas pelos ensaios de laboratório de cisalhamento direto e de tração. Os materiais sintéticos para ensaios geotêxtil/solo foram cortados nas dimensões 101,6 x 101,6 mm e 101,6 x 110 mm. O solo foi inicialmente compactado sob condições de umidade ótima ($\pm 2\%$) e peso específico seco máximo, com 100% da energia de compactação do Proctor Normal em cilindros de ensaios CBR.

Após os ensaios obteve que as resistências à tração dos materiais geossintéticos, obtidas nos ensaios à tração simples, são inferiores àqueles fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos, evidenciando a necessidade da adoção de fatores de redução quanto a incertezas do próprio material de reforço. Os efeitos do confinamento sobre a resistência à tração e, conseqüentemente, na rigidez do reforço, apresentaram comportamentos similares para os ensaios realizados com e sem contato do solo com a manta têxtil.

➤ **Estudo de caso 2: Recuperação de ravinas e/ ou voçorocas**

FARIAS *et al* [20] mostra que no primeiro estágio da obra para recuperação de ravinas e/ ou voçorocas com a instalação dos barramentos de geotêxteis, foi realizada a execução de três barramentos com as hastes não sendo utilizadas em sua totalidade. Isto é, a tela metálica e o geotêxtil são colocados numa determinada altura das hastes para que o sedimento produzido a montante possa ser acumulado no barramento 1 e o excedente passe para o barramento 2 e assim sucessivamente como mostrado na (Figura 6) abaixo.

Em seguida foi realizado o assoreamento dos barramentos. Após concluído esta etapa é feito o aumento de altura dos barramentos. Além do aumento de altura dos barramentos foram colocados novos barramentos a jusante, com o objetivo de aumentar a estabilidade global do sistema (Figura 7). Após instalados os barramentos fez-se o

monitoramento do sistema, principalmente após precipitações pluviométricas intensas, para verificar do comportamento da obra. A eficiência do sistema de barramento nesta obra, esta atrelada aos ajustes técnicos em função das condições locais, ou seja, não basta escolher apenas bons materiais, é imprescindível que seja feito o controle de qualidade da instalação sempre compatível com a obra onde esta sendo aplicado.

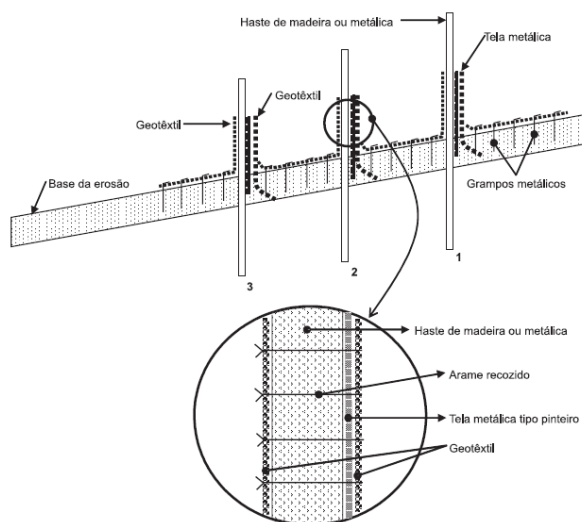


Figura 6 - Vista lateral das barreiras para acumulação dos sedimentos gerados a montante (Farias et al., 2005).

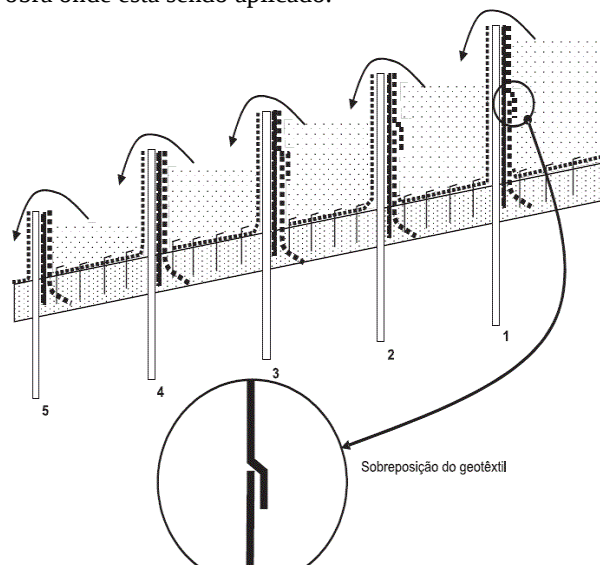


Figura 7 - Vista lateral das barreiras para acumulação dos sedimentos gerados a montante com incremento de novos barramentos (Farias et al., 2005).

➤ Estudo de caso 3: Avaliação da interação solo-geogrelha

TEIXEIRA [21] desenvolveu seu trabalho com o objetivo de avaliar a interação solo-geogrelha, para isso foram realizados os ensaios em laboratoriais de cisalhamento direto com reforço inclinado, ensaio de tração confinada com solo, o ensaio de arrancamento, ensaios de arrancamento de grande porte. No campo interação solo-geogrelha avaliou-se o mecanismo de transferência de carga geogrelha-solo, resistências por atrito e adesão, resistência passiva dos elementos transversais, efeito das propriedades da inclusão, efeito do tipo de solo, efeitos do confinamento e da dilatação.

Feitas as análises iniciais, TEIXEIRA [21] realizou uma modelagem numérica para determinar os esforços de tração nas inclusões de estruturas de solo reforçado, bem como foram realizadas algumas simulações utilizando este método para mostrar a sua versatilidade e para obter algumas informações qualitativas a respeito do comportamento de estruturas em solo reforçado.

Foram realizadas 17 simulações de estruturas em solo reforçado utilizando o modelo apresentado, bem como permitir a realização de análises paramétricas dos principais fatores que podem influenciar na distribuição de esforços nas inclusões e no deslocamento da massa ativa de solo.

As simulações se referem a uma estrutura com 9 metros de altura e terrapleno horizontal. Nesta estrutura estão presentes 9 inclusões espaçadas a cada 1 metro, sendo que a primeira inclusão está a 0,5 m de profundidade abaixo do terrapleno. Alguns parâmetros foram mantidos constantes em todas as simulações, tais como o peso específico do solo, igual a 20 kN/m³, o ângulo de atrito interno, igual a 30°, e o parâmetro *n*, com valor igual a 0,15.

O objetivo principal deste estudo foi obter informações quantitativas e qualitativas a respeito dos parâmetros de resistência ao arrancamento para o modelo numérico. Após inserida todas as condições testadas, Teixeira [20] apresentou algumas conclusões obtidas:

- A modelagem numérica apresentada considera fatores normalmente desprezados na maioria dos métodos usados para determinar esforços nas inclusões, tais como interação solo-inclusão, rigidez do elemento de reforço e comprimento da inclusão;
- O método apresentado fornece uma distribuição de esforços diferente da obtida por meio do método clássico que considera que os esforços nas inclusões estão em função do diagrama de empuxo ativo do solo.
- Com a utilização do método, obtém-se valores médios para os deslocamentos sofridos pela zona ativa do solo, que podem ser decompostos nas componentes vertical e horizontal.

2.6.3 Drenagem e filtração

De acordo com Sociedade Internacional de Geossintéticos [8], os sistemas geossintéticos de drenagem/filtração nas obras civis e ambientais, são usualmente utilizados nas obras de estruturas de contenção, aterros, controle de

erosão, áreas de disposição de resíduos, etc, devido à necessidade de dar um destino final a um líquido (água, chorume, entre outros), permitindo o equilíbrio do sistema solo-geossintético. Os sistemas de drenagem/filtração são usados para substituir aos materiais granulares tradicionais. Dentre as principais vantagens oferecidas pelos geossintéticos com características drenantes, destaca-se a excelente capacidade de transmissão de fluidos ao longo do plano, são mais fáceis de instalar no campo e geralmente apresentam custo competitivo em situações em que os materiais granulares disponíveis não cumprem as especificações de projeto, são escassos ou têm seu uso restringido por razões ambientais. Os tipos de sistemas mais utilizados para atender esses casos são os: Geotêxteis, georredes e geocomposto. Se especificado e instalado adequadamente, geossintéticos podem fornecer soluções com custo competitivo para drenagem e filtração de obras de engenharia civil e ambiental.

ORTIZ, SANTOS JUNIOR E LADCHUMANANANDASIVAM [24] mostra que os Geotêxtil do tipo não-tecido, por exemplos, quando aplicados em obras para drenagem e ou filtração, podem ser aplicados à obra em formato de sacos de geotêxtil, cheios de areias, argilas ou materiais capazes de serem drenados. Funcionando de tal forma, a água passa através do geotêxtil, enquanto os sólidos ficam presos dentro do tubo. Pouco a pouco o tubo de geotêxtil vai consolidando-se, permitindo a obtenção de estruturas maciças, capazes de resistir à abrasão, cortes e punção com certo grau de confiabilidade; além de tolerar a degradação biológica e química gerada no meio natural.

As partes básicas de um Tubo de Geotêxtil são as seguintes: o tubo propriamente dito, a tela ante-erosão, prendedores e a boca de entrada do fluxo. (ver Figura 8)

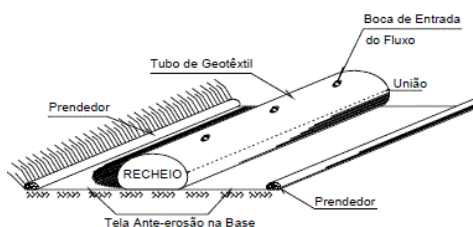


Figura 8 - Vista Isométrica de um Tubo de Geotêxtil (Ortiz, Santos Junior e Ladchumananandasivam, 2003).

Além disso, PALMEIRA, GARDONI E LUZ [25] acrescenta que para um desempenho satisfatório em um sistema filtro-drenante, em obras de um talude ou obra de contenção, por exemplo, o geotêxtil deve atender aos seguintes critérios, que a o mesmo apresente um funcionamento satisfatório:

- Critério de retenção;
- Critério de permeabilidade;
- Critério anti-colmatação;
- Critério de sobrevivência;
- Critério de durabilidade.

O critério de retenção é impedir o carreamento das partículas para o interior do elemento drenante, evitando mecanismos de erosão interna no maciço. O critério de permeabilidade visa garantir que a água flua livremente através, ou ao longo, do seu plano, não gerando poro-pressões no sistema ou nas suas vizinhanças. O critério anti-colmatação visa garantir que não haja condições para colmatação. Os critérios de sobrevivência e durabilidade são para garantir que o geotêxtil não seja danificado durante a sua instalação, prazo e garantia de suas propriedades a longo.

Apesar dos geotêxteis serem os mais empregados para sistemas filtro-drenantes, há outros sistemas de geossintéticos que vem sendo empregados nessas obras nos últimos anos, são o caso das georredes. Segundo SILVA [67] sua utilização se faz necessária em casos que a taxa de fluxo exceda a capacidade de desempenho dos geotêxteis. As georredes são produtos empregados como núcleo drenante, para criar um grande volume de vazios e, assim, substituir os materiais como: pedra britada, argila expandida, seixo rolado, cascalho e outros, empregados nos drenos convencionais. Entre as principais vantagens da utilização desse sistema, destacam-se: instalação rápida da camada drenante, produtividade, maior capacidade de armazenamento do aterro, melhoria da estabilidade de taludes, alta capacidade de escoamento, entre outras.

Além dos geotêxteis e as georredes, também largamente utilizados em sistemas dreno-filtrantes os geocompostos. Os geocompostos são materiais formados pela associação entre dois geossintéticos ou entre um geossintético e outros produtos, geralmente criados para desempenhar uma função específica [27].

BARBOSA [28] completa que essa combinação dos geocompostos drenantes é feita para se obtenha as melhores características dos diferentes materiais, de tal modo que sua finalidade da obra seja atendida. Como exemplos, têm-se a combinação dos geodrenos, constituídos com um núcleo plástico drenante e com geotêxtil. Além destes, têm-se também como combinação filtro-drenates a georrede e geomembrana e os geocompostos argilosos (GCL'S). Os geotubos são produtos poliméricos de forma tubular, perfurados ou não. Podem ser utilizados, por exemplo, para a

coleta de chorumes em aterros sanitários, em valas de absorção e drenagem superficial em coberturas de aterros e valas [29].

Além dos geossintéticos mais conhecidos no mercado, já apresentados acima, a evolução desses materiais não para de crescer, tanto em propriedades como em novos materiais, como exemplo SILVA E GONÇALVES [30] mostra a geomanta, um geossintético filtro-drenante que possui as características muito próximas ao geotêxtil, porém com espessura significativa, acarretando em maiores resistência às intempéries e à fotodegradação. No caso da função filtrante, a mesma pode-se reter até mesmo as partículas finas do solo (diâmetros de até 0,002mm), que vem sendo um grande dificuldade nos últimos anos para os geossintéticos, devido a colmatação, afetando diretamente a vida útil do sistema de filtro/drenagem.

➤ **Estudo de caso 1: Aplicação de tubos de geotêxtil a obras de defesa costeira**

O estudo de Ortiz *et al.* [24] trata-se da aplicação de tubos de geotêxtil a obras de defesa costeira. Para isso determinou-se as dimensões de projeto, foram a secção transversal de um tubo cheio se aproxima de uma elipse, entretanto apresenta-se plana nas partes superior e inferior. Seu perímetro é múltiplo da largura padrão dos rolos do geotêxtil; assim por exemplo, ao se unir dois rolos de 4.50 m de largura, obtém-se um tubo de aproximadamente 9.00 m de perímetro.

Para montar os Tubos de Geotêxtil, deverão ser implementadas basicamente as seguintes etapas: limpeza do terreno, posicionamento do tubo e enchimento com material indicado no projeto.

Os tubos de geotêxtil fornecem novas possibilidades de solução para problemas difíceis de resolver com outras estruturas. Este método promove a retirada da água do solo de recheio, provocando a sua consolidação e consequente aumento de resistência. Esta técnica é viável em locais onde não se têm rochas e sim, abundância de areias, siltes ou argilas. Atualmente vêm-se realizando experimentos que permitam entender melhor os princípios e forma de trabalho dos Tubos de Geotêxtil

➤ **Estudo de caso 2: Ensaios de transmissibilidade para drenagem**

SILVA [26] em seu trabalho realizou ensaios de transmissibilidade para drenagem. Para isso primeiramente determinou-se as características relevantes dos geossintéticos para drenagem, são elas: propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas.

Para os ensaios de transmissibilidade em georredes foram utilizadas dois tipos, onde as mesmas possuíam a mesma abertura das fibras, mas diferenciavam-se pela espessura e gramatura. A G1 possui 879g/m² e a G2 1190 g/m². Estudiosos afirmam que uma georrede de 5 mm equivale a um colchão drenante de 200 a 300 mm sob as mesmas condições.

O equipamento utilizado para o ensaio foi desenvolvido na UNB, sendo similar a proposta da ASTM D4716 (1991). A amostra de geossintético foi acomodada no interior de uma caixa formada por uma célula de aço. O corpo-de-prova tem a forma quadrada, com lados iguais a 30 cm, é posicionado entre dois reservatórios de acrílico de dimensões iguais, cuja largura corresponde à do CP, e altura igual a 11 cm. A tensão vertical distribuída sobre o corpo-de-prova é aplicada por uma placa rígida de metal com 20 mm de espessura, cuja área de projeção abrange toda a superfície do CP.

Ao final do ensaio foi observada uma tendência da diminuição de taxa de fluxo no plano das georredes com o acréscimo de tensão vertical. Esta tendência é mais pronunciada para a georrede GN1, mostrando que o volume dos poros disponível sob tensão é condicionante no valor da capacidade de descarga.

As georredes com maiores valores de gramatura e espessura tenderam a apresentar um maior grau de resistência à intrusão e, consequentemente, apresentaram maior capacidade de descarga e menores variações de espessura com o acréscimo de tensão vertical.

As variações de carga hidráulica ao longo das georredes foram mais significativas para a georrede de menor gramatura devido às maiores perdas de carga ao longo do comprimento do corpo-de-prova, em função da intrusão da espuma emborrachada nos poros da georrede.

2.7 Apresentação Geossintéticos quanto a função primária

No decorrer desse trabalho pode-se notar que para tipo de obra citada existe algum geossintético mais recomendado ou mais utilizado para aquela finalidade, como para aterro sanitário no caso de para barreiras de impermeabilizantes são usadas as geomembranas, obras de reforço geotêxteis, de drenagem e filtração georredes e geotubos. Tais recomendações são feitas pelas próprias características e composição desses materiais.

No Quadro 3 segue a sistematizadas as funções relevantes a serem desempenhadas por um geossintético, a partir da aplicação a que o mesmo está sendo submetido.

Tipo de geossintético	Função primaria						Matéria Prima
	Conten- ção	Drena- gem	Filtra- ção	Prote- ção	Reforço	Separa- ção	
Geocélula (GL)				x	x		Polietileno (PE).
Geocomposto (GC)	x	x	x		x	x	Polietileno (PE), Polietileno De Alta Densidade (PEAD).
Geocomposto Argilos (GCL)	x						Poliamida (PA)(Náilon), Poliest (PET), Polipropileno (PP).
Geogrelha (GG)					x	x	Poliamida (Pa)(Náilon), Policloreto De Vinila (PVC), Poliéster (Pet), Polipropileno (PP), Polietileno (PE).
Geomembrana (GM)	x				x	x	Policloreto De Vinila (PVC), Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Polietileno De Alta Densidade (PEAD).
Georrede (GN)		x		x			Policloreto De Vinila (PVC), Polipropileno (PP), Polietileno (PE).
Geotêxtil (GT)	x	x	x	x	x	x	Poliamida (PA)(Náilon), Poliest (PET), Polipropileno (PP).
Geotubo (GP)		x					Policloreto De Vinila (PVC), Polietileno De Alta Densidade (PEAD).

Quadro 3 - Função primaria habitual dos geossintéticos e suas respectivas matéria prima (KOERNER, 2005).

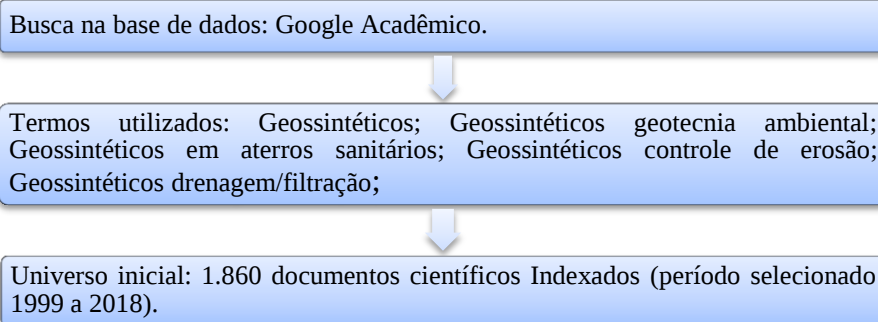
É importante termos essa visão, para além de escolher o material certo para atender a necessidade da obra como também para combinação dos geocomposto por exemplos, visto que os mesmo são materiais formados justamente pela associação entre dois geossintéticos ou entre um geossintético e outros produtos. Dessa forma, conhecendo bem as funções primarias de cada geossintético, torna-se mais pratico fazer a combinação certa de geossintéticos para atender características específicas de cada obra.

3. METODOLOGIA

A pesquisa em questão pode ser categorizada como descritiva, de abordagem qualitativa, desenvolvida através de análise bibliográfica. O objetivo foi identificar e analisar a produção científica e teses do uso de produtos sintéticos na engenharia nos últimos 20 anos.

A pesquisa foi realizada com base de dados do Google acadêmico, por autores brasileiros que estudaram a aplicação e evolução dos geossintéticos, com ênfase em obras de geotecnia ambiental, são elas: aterros, taludes, muros de contenção, controle de erosão, entre outras.

Abaixo segue como foi feito a pesquisa e refinamento dos dados para este artigo, conforme esquema apresentado na Figura 9.



Refinamento dos dados:

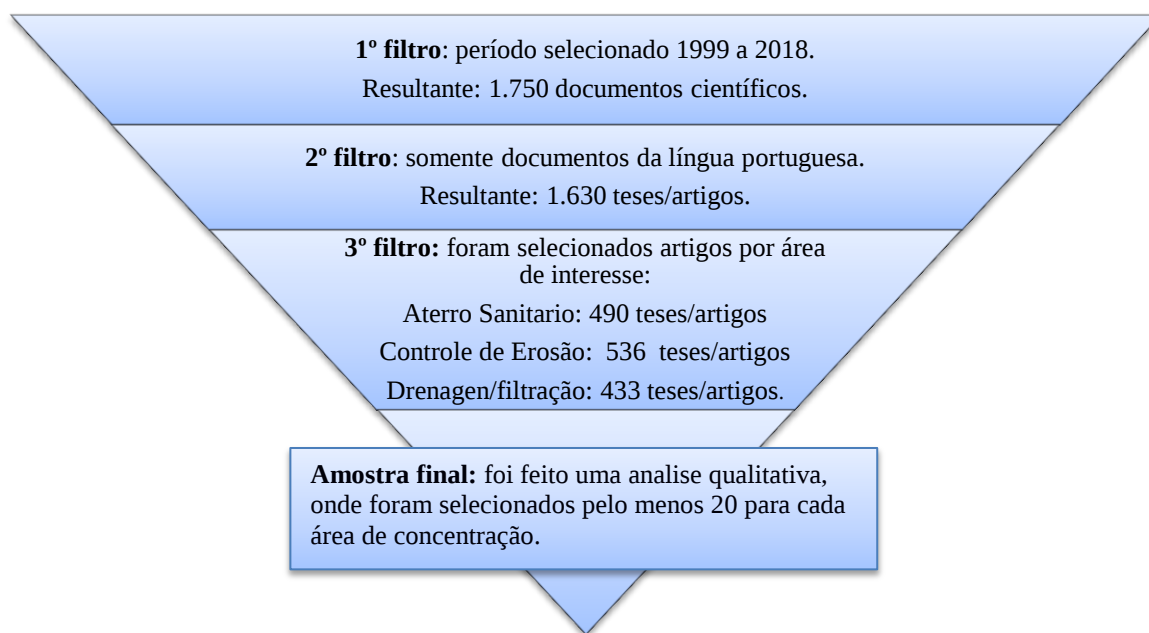


Figura 9 – Esquema do desenvolvimento metodológico do trabalho (Autoria própria, 2019).

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Para melhor interpretação dos dados dividiu-se este tópico em subitens para melhor apresentar as categorias dos dados, e dessa forma evidenciar os resultados obtidos através da revisão teórica e pesquisa bibliográfica na Base Google Acadêmico.

4.1 Publicações por anos

O uso de geossintéticos tem se tornado algo cada vez mais comum nas obras de engenharia civil. Mas por ser um sistema cujas propriedades encontra-se em constante aperfeiçoamento para atender sempre necessidades dos usuários e suas finalidades, é um produto que não deixa de ser tendência no mercado, e cada dia mais usado em obras de engenharia devido a facilidade da sua aplicação e à contribuição para a redução do impacto ambiental.

Tal fato comprava-se pelo interesse crescente dos pesquisadores em compreender mais suas aplicações e funções em relação a aplicações ambientais. Pode-se observar nessa pesquisa um crescente número de teses e artigos científicos que estudam a aplicações dos geossintéticos em obras geotécnicas e as vantagens proporcionadas a obra.

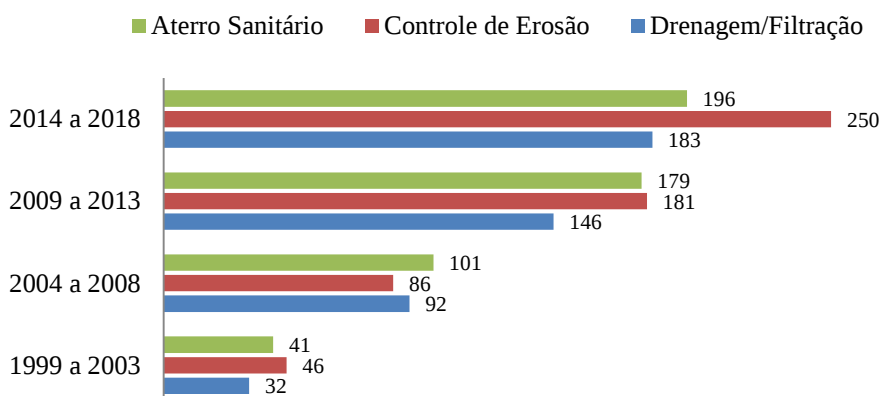


Gráfico 1 – Publicações por faixas anuais de teses de geossintéticos (Autoria própria, 2019).

No Gráfico 1 mostra o resultado da pesquisa na base do Google acadêmico, entre os anos de 1999 a 2018, onde se percebe que o número de produções indexados entre o período de 2014-2018 foi entono do quíntuplo do registrado em 1999-2003, corroborando com o fato que a medida que os geossintéticos passaram a ser mais

utilizados no mercado, o interesse em estudar a efetividade de sua aplicação nas obras geotécnicas aumentou junto com a demanda.

Outro aspecto importante neste gráfico, é que entre os anos de 2009 a 2018 os estudos de controle de erosão teve um aumento superior aos demais estudos de Aterro e Obras de Drenagem e filtração. Deixando de sugestão para futuros trabalhos estudar a relação crescente de estudos na aplicação de geossintéticos para controle de erosão com o mercado, se existe alguma relação de demanda nos aspectos atuais.

4.2 Geossintéticos aplicados neste trabalho

No Quadro 4, segue uma visão geral dos principais geossintéticos usados nas obras geotécnicas citadas nesse trabalho entre os anos de 1999 a 2018.

Tipo de geossintético	Aplicação de Geossintéticos		
	Aterro Sanitário	Controle de Erosão	Drenagem/Filtração
Geocélula (GL)	x	x	
Geocomposto (GC)		x	
Geocomposto Argiloso (GCL)	x		
Geogrelha (GG)		x	
Geomembrana (GM)	x		
Georrede (GN)			x
Geotêxtil (GT)		x	x
Geotubo (GP)			x
Geo-outros			x

Quadro 4 – Aplicação de geossintéticos por obras (Autoria própria, 2019).

Fazendo-se uma analogia com o Quadro 3 aplicação dos geossintéticos pela função primária, observa-se que as aplicações dos geossintéticos nas obras geotécnicas deste trabalho condiz com suas funções de reforço, contenção, separação, entre as outras. Conhecendo sua aplicação primária, é interessante para obra, pois a mesma irá utilizar do geossintético que atenda suas necessidades, e também realizar possíveis combinações para o melhor desempenho da obra.

5. CONCLUSÃO

Os geossintéticos são materiais em aplicação crescente na Engenharia Civil, e particularmente em obras geotécnicas. A qualidade, segurança e vida útil das construções exigidas pelo mercado, têm limitado a utilização de materiais comuns da engenharia. A facilidade de aplicação dos geossintéticos aliados ao baixo custo e a versatilidade destes materiais quando comparados com metodologias e materiais tradicionais, torna esses materiais mais atraentes para o mercado justificando assim o aumento progressivo da sua utilização.

As aplicações dos materiais geossintéticos são muito vastas, visto que todas as culturas e profissões que buscam o entendimento com o solo podem de certa forma usar e abusar de suas funcionalidades. O presente artigo foram exemplificadas algumas aplicações em obras de aterros sanitários, controle de erosão e drenagem e filtração. E apresentado estudos de casos que mostram a efetividade da aplicação desses materiais sintéticos nas mais diversas obras.

Nos estudos de caso, observou-se que o sucesso da aplicação dos geossintéticos estão atreladas ao estudo das condições locais de onde os mesmos seriam aplicados, de modo que conhecendo as o ambiente e a necessidade da obra, o sistema geossintético é construído de modo que atende a necessidade do cliente.

A análise bibliográfica da aplicação de geossintéticos em obras ambientais citadas acima foram realizada com base nesses últimos 20 anos. A estudo apresentou que o número de produções indexados da pesquisa entre o período de 2014-2018 foi entorno do quádruplo do registrado em 1999-2003, corroborando com o fato que aumento de interesse em estudar as propriedades dos geossintéticos esta aliada ao crescente utilização dos mesmos no mercado atual. Outro aspecto do quadro mostrado foi o crescente estudo em controle de erosão, deixando a sugestão para fazer uma avaliação dos estudos com os aspectos atuais da geotecnia ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VILAR, Orenco Monje. Geossintéticos em aplicações ambientais. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 4, p. 69-85, 2004.
- [2] NASCIMENTO, MARUSKA TATIANA. Avaliação de Dano Mecânico em Geossintéticos em Obras de Disposição de Resíduos. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Publicação G. DM-093A/02, 102p.

- [3] KOERNER, Robert M. 1998. "Designing with Geosynthetics". Editado por Pearson Prentice Hall. 5ª ed. Estados Unidos da América
- [4] LOPES M.L.C. (1998) "Aplicação de Geossintéticos em Engenharia" Texto de apoio à disciplina "Aplicações de Geossintéticos em Engenharia Civil", Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [5] VIOLANTE, Francisco Manuel Matos. Caracterização da Danificação Mecânica de Geossintéticos. 2016.
- [6] LOPES, M.J.F.P. (2004) "Estudo de coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos" Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [7] PINHO-LOPES, M. e Lopes, M. L. 2010. "A Durabilidade Dos Geossintéticos". 1ª ed. Porto: FEUP edições.
- [8] SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (International Geosynthetic Society – IGS) disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>>. Acesso em 04 abril. 2018.
- [9] CARNEIRO, José Ricardo da Cunha et al. Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: a importância da incorporação de aditivos químicos. 2009.
- [10] DA COSTA, Amauri Harvey et al. VERSATILIDADE DOS GEOSSINTÉTICOS APLICADA À ENGENHARIA, 2015.
- [11] EN ISO 10318. Geossintéticos termos e definições. CEN, 2005.
- [12] BORGATTO, André Vinícius Azevedo. Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado–UFRJ, 174p.
- [13] MELLO, LUIZ GUILHERME RODRIGUES DE. Estudo da interação solo-geossintético em taludes de obras de disposição de resíduos. 2001.
- [14] NASCIMENTO, MARUSKA TATIANA. Avaliação de Dano Mecânico em Geossintéticos em Obras de Disposição de Resíduos. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Publicação G. DM-093A/02, 102p.
- [15] OBLADEN, Nicolau Leopoldo; OBLADEN, Neiva Terezinha Ronsani; BARROS, KR de. Guia para elaboração de projetos de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos. Série de publicações temáticas do CREA-PR, v. 3, n. 4, 2009.
- [16] MENDES, Marianna Jacominy de Amorim; PALMEIRA, Ennio marques; PIERSON, Patrick. Alguns Fatores que Influenciam o Desempenho de Geocompostos Bentoníticos sob Fluxo de Gases e Líquidos em Barreiras de Aterros Sanitários. 2010. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Publicação G. TD-064/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF.
- [17] MENESES, Leonardo Antônio de. Utilização de geocélulas em reforço de solo mole. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [18] GARCEZ, Gisele Lucas. Aplicação de Geossintéticos como reforço de base em obras viárias. Tese de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 1999.
- [19] MARTINS, Carlos César. Análise e reavaliação de estruturas em solos reforçados com geotêxteis. 2000.
- [20] FARIAS, R. C.; CARVALHO, J. C.; OLIVEIRA, R. P. Análise da influência de barramentos na estabilidade de taludes para recuperação de ravinas e voçorocas.
- [21] TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso. Estudo da interação solo-geogrelha em testes de arrancamento e a sua aplicação na análise e dimensionamento de maciços reforçados. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [22] BUENO, B. S.; NETO, J. O. Avesani; Proteção e Controle de Erosão em Taludes com Geocélula. In: 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, São Paulo, Brasil. 2009.
- [23] FRANÇA, FAN; PEREIRA, Vinícius Rocha Gomes. Emprego de geossintéticos para recomposição de talude com recuperação da geometria original e uso de solo local. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, v. 26, p. 56-64, 2012.
- [24] ORTIZ, Rocio Norabuena; JUNIOR, Olavo Santos; LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. Tubos de Geotêxtil Aplicados a Obras de Defesa Costeira. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de expressão Portuguesa. 2003
- [25] PALMEIRA, E. M.; GARDONI, M. G.; LUZ, D. W. B. Alguns aspectos ligados ao comportamento de sistemas filtro-drenantes sintéticos em obras de estabilização de encostas, 2005.
- [26] SILVA, Cássio André da. Ensaios de transmissibilidade em geocompostos para drenagem. 2007.
- [27] MACCAFERRI. Manual Técnico: Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos. São Paulo, Brasil. 2008.
- [28] BARBOSA, Camila Cunha. A utilização de materiais geossintéticos em barragens de terra e enrocamento. 2010. Tese de Graduação. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba -PB.
- [29] NORTÈNE. Manual de geossintéticos. Departamento Técnico Nortene Plásticos Ltda São Paulo. 2012. 81 p
- [30] SILVA, Juliana Caroline de Alencar da ; GONÇALVES, Júlio Fernandes. Uso de geomanta não tecido no controle de poluentes em Sistemas sustentáveis de drenagem urbana, 2001.

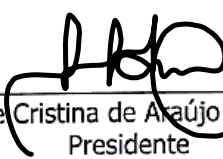


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CAMPUS DE CARAÚBAS

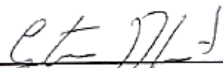
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 19h00min, do dia 24 de janeiro do ano de dois mil e dezenove, na Sala 34 do Bloco de Professores I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA Campus de Caraúbas-RN, sob a presidência da professora Ma. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de autoria da aluna **LÍGIA RAQUEL RODRIGUES SANTOS**, do curso de Engenharia Civil desta Universidade, com o título *"APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS NA ENGENHARIA AMBIENTAL NO BRASIL: ANÁLISE NOS ÚLTIMOS 20 ANOS"*. A Banca Examinadora ficou assim constituída: Prof.^a Ma. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva, presidente da banca e orientadora do TCC; o Prof. M.Sc. Gustavo Marques Calazans Duarte e o Prof.^o Esp. Prof. Esp. Alison Kaio Dantas Pereira, como membros. Foram registradas as seguintes ocorrências: após apresentação oral e arguição da banca foram solicitadas correções e modificações, acatadas pela orientadora que devem ser realizadas pela discente dentro do prazo regimental. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo a aluna obtido as seguintes notas: 9,0 (nove); 9,0 (nove); e 9,0 (nove). Apuradas as notas verificou-se que a aluna foi APROVADA com *média geral 9,0* (nove), fazendo jus, portanto, ao título de **Bacharel em Engenharia Civil**. E para constar, eu, Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva, professora, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos. Caraúbas, 24 de janeiro de 2019.

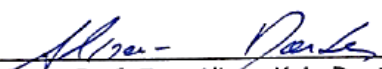
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof.ª M.Sc. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva
Presidente



Prof. M.Sc. Gustavo Marques Calazans Duarte
Membro



Prof. Esp. Alison Kaio Dantas Pereira
Membro