



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**

**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAIO CÉSAR DE MELO MENDES**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE GEOSOFTE V4.0 PARA PROJETOS COM  
GEOSSINTÉTICOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS  
DE SUBDRENAGEM EM VIAS**

**MACAPÁ-AP**

**2024**

**CAIO CÉSAR DE MELO MENDES**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE GEOSOFT V4.0 PARA PROJETOS DE  
INFRAESTRUTURA COM GEOSINTÉTICOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
DIFERENTES SISTEMAS DE SUBDRENAGEM EM VIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado a Universidade Federal do Amapá  
– UNIFAP como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Civil.

**Orientador: Prof. Me. Fábio Araújo Pereira**

**MACAPÁ-AP**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

M534u Mendes, Caio César de Melo.

Utilização do software geosoft v4.0 para projetos com geossintéticos: estudo comparativo entre diferentes sistemas de subdrenagem em vias / Caio César de Melo Mendes. - Macapá, 2024.

1 recurso eletrônico. 105 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2024.

Orientador: Prof. Me. Fábio Araújo Pereira.

Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Geosoft V4. 2. Geossintéticos. 3. Subdrenagem. I. Pereira, Fábio Araújo, orientador. II. UNIFAP. III. Título.

CDD 23. ed. – 627.4

---

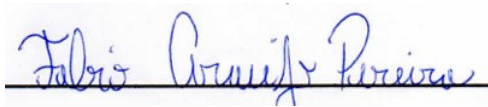
**CAIO CÉSAR DE MELO MENDES**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE GEOSOFTE V4.0 PARA PROJETOS COM  
GEOSSINTÉTICOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS  
DE SUBDRENAGEM EM VIAS**

Trabalho de conclusão de curso submetido a Universidade Federal do Amapá apresentado para a Coordenação de Engenharia Civil – CEC – como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Título de Engenheiro Civil, sob orientação do **Prof. Me. Fábio Araújo Pereira**.

**DATA DE APROVAÇÃO: 18/11/2024**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Me. Fábio Araújo Pereira – Orientador

Universidade Federal do Amapá - UNIFAP



Documento assinado digitalmente

**LUIS HENRIQUE RAMBO**

Data: 07/01/2025 20:17:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Me. Luis Henrique Rambo – Examinador interno

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP



Documento assinado digitalmente

**ADENILSON COSTA DE OLIVEIRA**

Data: 08/01/2025 04:05:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira – Examinador interno

Universidade Federal do Amapá - UNIFAP

Este trabalho é dedicado à minha avó paterna  
Maria Aracy, que Deus a tenha.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar expresso minha gratidão a Deus por poder concluir mais um ciclo em minha vida e também por sua orientação e providência que me permitiram superar os desafios da jornada acadêmica, em especial durante a época da pandemia do coronavírus.

A realização deste TCC representa um marco importantíssimo na minha trajetória acadêmica e pessoal, e, por isso, não posso deixar de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a concretização deste projeto, seja direta ou indiretamente.

Agradeço aos meus pais Cesar e Vera e à minha irmã mais velha Cheila pelo apoio durante toda a minha jornada como estudante, sou muito grato por isso e não posso pôr em palavras o quão importante vocês são na minha vida e foram na minha formação acadêmica.

Agradeço imensamente aos meus amigos e colegas do curso, em especial a turma 2016, que estiveram do meu lado em cada etapa da minha trajetória universitária, incentivando-me em cada semestre que passou. Aos amigos, que viveram comigo as alegrias e frustrações de cada semestre, ouvindo minhas queixas, compartilhando conselhos e sendo sinceros quando necessário. Compartilhamos momentos inesquecíveis, desde festas, churrascos e campeonatos até aulas, congressos e viagens, memórias essas que levarei para toda a minha vida. Termino esses agradecimentos sem me esquecer dos colegas de estágio e trabalho, cuja contribuição foi fundamental para o meu crescimento pessoal e aprendizado profissional.

“Absorva o que for útil, rejeite o que for inútil e acrescente o que é especificamente seu”

**Bruce Lee**

## RESUMO

O avanço tecnológico das últimas décadas fez com que o uso de softwares em engenharia civil se tornasse cada vez mais comum e aceito, de tal forma que atualmente é raro encontrar um engenheiro que não utilize essas ferramentas. Outro tipo de tecnologia que evoluiu de maneira acelerada foram os geossintéticos, materiais estes que hoje são indispensáveis em grandes projetos da engenharia moderna e oferecem eficiência e sustentabilidade para uma área que tanto necessita disso. O estudo utilizou o software Geosoft PAVCO v4 para projetar e comparar diferentes sistemas de subdrenagem com geossintéticos em uma via específica, analisando a aplicabilidade do software no estado do Amapá. A pesquisa revisa a literatura sobre drenagem urbana e geossintéticos, destacando sua eficiência, durabilidade e impacto ambiental positivo. Após projetar as simulações via software, foram feitos orçamentos que indicaram que a implantação do geocomposto drenante vial, pode gerar uma economia de até 30,9% comparado com o dreno francês. Assim, o uso do Geosoft PAVCO v4 em projetos desse tipo, junto com a implementação das devidas adaptações de projeto, torna-se uma solução vantajosa para empresas e engenheiros que necessitam de uma ferramenta gratuita na área de drenagem de vias.

**Palavras-Chave:** Geosoft V4; geossintéticos; subdrenagem.

## ABSTRACT

*Technological advancements of recent decades have made the use of software in civil engineering increasingly common and accepted, to the point where it is now rare to find an engineer who does not use these tools. Another type of technology that has evolved rapidly is geosynthetics. These materials are now indispensable in major modern engineering projects, offering efficiency and sustainability to an area in great need of both. This study used the software Geosoft PAVCO v4 to design and compare different sub-drainage systems with geosynthetics for a specific road, assessing the software's applicability in the state of Amapá. The research reviews literature on urban drainage and geosynthetics, highlighting their efficiency, durability, and positive environmental impact. After designing the simulations using the software, budgets indicated that implementing a road drainage geocomposite could result in savings of up to 30.9% compared to the French drain. Thus, using Geosoft PAVCO v4 for such projects, combined with the implementation of appropriate design adaptations, becomes a beneficial solution for companies and engineers who require a free tool for road drainage design.*

**Keywords:** *geosoft v4; drainage; geotextiles.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Enchente no Rio grande do Sul.....	21
Figura 2 - Rodovia dos Bandeirantes, SP (1978) .....	25
Figura 3 - Geocélula Webflex .....	27
Figura 4 - Geocomposto drenante .....	28
Figura 5 - Membrana geoespaçadora.....	28
Figura 6 - Geogrelha.....	29
Figura 7 - Geomanta PVC .....	29
Figura 8 - Georrede.....	30
Figura 9 - Geotêxtil não tecido .....	30
Figura 10 - Geotêxtil tecido.....	31
Figura 11 - Geocomposto drenante vial .....	32
Figura 12 - Acostamento sem revestimento, com canal de escoamento ao longo da superfície da pista.....	41
Figura 13 - Componentes do dreno francês.....	42
Figura 14 - Subdrenagem em uma estrada .....	43
Figura 15 - Geocomposto drenante .....	45
Figura 16 - Diagrama de um geocomposto drenante planar.....	46
Figura 17 - Diagrama de um geocomposto drenante vial.....	47
Figura 18 - Geocomposto drenante vial .....	48
Figura 19 - Subdrenagem em estradas com geocomposto drenante vial.....	49
Figura 20 - Cais de Guatapé, Colômbia .....	51
Figura 21 - Via alto Magdalena, também chamada de Via Honda-Puerto Salgar-Girardot.....	51
Figura 22 - Centro de eventos Puerta de Oro, localizado em Barranquilla na Colômbia .....	52
Figura 23 - Ícone do Software Geosoft v4 .....	52
Figura 24 - Menu do software Geosoft v4.....	53
Figura 25 - Diagrama de fluxo de projeto de subdrenagem utilizando geotêxtil e material granular.....	54
Figura 26 - Vazões a considerar num projeto.....	55
Figura 27 - Localização do município de Macapá e sua estação pluviográfica .....	56
Figura 28 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência de Macapá .....	57
Figura 29 - Sistema de subdrenagem lateral em uma estrada.....	59

Figura 30 - Passagem de água através do sistema de filtração .....	62
Figura 31 - Indicação geográfica dos campi, terrenos e prédios da UNIFAP no estado .....	69
Figura 32 - UNIFAP, Campus Marco Zero .....	69
Figura 33 - Rua principal da UNIFAP, em amarelo .....	70
Figura 34 - Rua 1 da UNIFAP, em roxo.....	70
Figura 35 - Medição da Rua 1 da UNIFAP no Google Earth.....	71
Figura 36 - Medição da largura da Rua 1 da UNIFAP .....	71
Figura 37 - Dimensões escolhidas para o Dreno Francês.....	74
Figura 38 - Dados da Vazão por Infiltração, no Geosoft v4.....	79
Figura 39 - Dados da Vazão por rebaixamento do lençol freático, no Geosoft v4 .....	80
Figura 40 - Vazão de Projeto, no Geosoft v4 .....	80
Figura 41 - Parâmetros do filtro e Material drenante .....	81
Figura 42 - Geotêxteis disponíveis no software .....	81
Figura 43 - Opções do critério de retenção.....	82
Figura 44 - Fatores de redução utilizados.....	82
Figura 45 - Dados da tubulação de drenagem .....	82
Figura 46 - Confirmação de que o Geotêxtil selecionado passa no critério de retenção.....	82
Figura 47 - Confirmação de que o geotêxtil selecionado passa nos critérios de sobrevivência .....	82
Figura 48 - Exemplo de Geotêxtil repovado nos critérios de sobrevivência.....	83
Figura 49 - Permissividade e Permeabilidade de projeto .....	84
Figura 50 - Representação final de projeto do Dreno francês .....	84
Figura 51 - Especificação do Geocomposto drenante vial .....	85
Figura 52 - Materiais drenantes disponíveis.....	85
Figura 53 - Critério de retenção recomendado para Geodren Vial.....	86
Figura 54 - Fatores de Redução escolhidos .....	86
Figura 55 - Adequação em três critérios.....	86
Figura 56 - Avaliação segundo a permissividade do sistema .....	87
Figura 57 - Representação final do projeto utilizando o geodren vial.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas para o combate às enchentes urbanas .....	21
Tabela 2 - Histórico brasileiro em congressos internacionais de geossintéticos .....	26
Tabela 3 - Funções dos geossintéticos em projetos de engenharia.....	33
Tabela 4 - Fatores de redução para geotêxtil em aplicações de drenagem.....	38
Tabela 5 - Fatores de redução para geocompostos em aplicações de drenagem.....	39
Tabela 6 - Normas brasileiras da ABNT para geossintéticos.....	39
Tabela 7 - Manuais nacionais relacionados .....	39
Tabela 8 - Aplicações, usos e tipo de geocomposto de drenagem .....	48
Tabela 9 - Intensidade da chuva em Macapá-AP, em mm/h.....	57
Tabela 10 - Valores recomendados para FR.....	58
Tabela 11 - Valores recomendados para Fi .....	58
Tabela 12 - Velocidade de fluxo x Inclinação de subdreno .....	61
Tabela 13 - Norma internacional de critérios de resistência .....	65
Tabela 14 - Tabela de permeabilidade.....	75
Tabela 15 - Norma internacional do critério de sobrevivência, em inglês .....	75
Tabela 16 - Linha BIDIM RT e resistência à tração grab .....	76
Tabela 17 - Linha BIDIM RT e resistência ao rasgo trapezoidal .....	76
Tabela 18 - Linha BIDIM RT e resistência à penetração .....	77
Tabela 19 - Custo do dreno francês por metro .....	89
Tabela 20 - Custo do geodren vial por metro .....	90
Tabela 21 - Custo do geodren vial, cenário utilizando areia grossa .....	91

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

UNIFAP – UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ

NBR – NORMA BRASILEIRA

IGS - INTERNATIONAL GEOSYNTHETIC SOCIETY

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

GRI - GEOSYNTHETIC RESEARCH INSTITUTE

ISO - INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION

SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO  
DO DISTRITO FEDERAL

RECESA - REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM  
SANEAMENTO

ABMS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA  
GEOTÉCNICA

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 DRENAGEM URBANA .....	19
2.2 GEOSSINTÉTICOS.....	22
2.2.1 HISTÓRICO DO USO DE GEOSSINTÉTICOS NO BRASIL .....	23
2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS .....	26
2.2.3 FUNÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS .....	32
2.2.4 GEOSSINTÉTICOS EM APLICAÇÕES DE DRENAGEM.....	34
2.3 GENERALIDADES DE PROJETO.....	35
2.3.1 FATORES DE REDUÇÃO PARA GEOTÊXTEIS EM APLICAÇÕES DE DRENAGEM .....	36
2.3.2 FATORES DE REDUÇÃO PARA GEOCOMPOSTOS EM APLICAÇÕES DE DRENAGEM .....	38
2.4 SISTEMAS DE SUBDRENAGEM PARA VIAS .....	40
2.4.1 FILTRO FRANCÊS.....	42
2.5 GEOCOMPOSTO DRENANTE.....	43
2.5.1 GEOCOMPOSTO DRENANTE PLANAR .....	46
2.5.2 GEOCOMPOSTO DRENANTE VIAL.....	46
2.6 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE GEOSOFT PAVCO 4.0 .....	50
3. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	54
3.1 CONDIÇÕES DE FLUXO .....	54
3.2 ESTIMATIVA DA VAZÃO DE PROJETO.....	55
3.2.1 VAZÃO POR INFILTRAÇÃO (QINF) .....	55
3.2.2 VAZÃO POR REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO.....	58
3.3 DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL .....	60
3.4 SELEÇÃO DO GEOTEXTIL.....	62
3.4.1 CRITÉRIO DE RETENÇÃO (TAA).....	62
3.4.2 CRITÉRIO DE PERMEABILIDADE.....	64
3.4.3 CRITÉRIO DE COLMATAÇÃO.....	64
3.4.4 CRITÉRIO DE SOBREVIVÊNCIA.....	65
3.4.5 CRITÉRIO DE DURABILIDADE.....	65
3.4.6 CRITÉRIO DE PERMISSIVIDADE.....	66

3.5 GEOCOMPOSTOS DRENANTES.....	68
3.6 DADOS DE PROJETO .....	68
3.6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	72
4.1 PROJETO DRENO FRANCÊS.....	72
4.2 PROJETO UTILIZANDO O SOFTWARE GEOSOFT V4.....	79
4.2.1 PARÂMETROS UTILIZADOS PELOS DOIS PROJETOS .....	79
4.2.2 PROJETO SELECIONANDO A OPÇÃO FILTRO FRANCÊS .....	81
4.2.3 PROJETO UTILIZANDO O GEOCOMPOSTO GEODREN VIAL.....	85
4.2.4 AVALIAÇÃO DO SOFTWARE.....	88
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS .....	89
5. CONCLUSÃO .....	92
6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
7. REFERÊNCIAS.....	94
APÊNDICE .....	97
ANEXO .....	106

## 1. INTRODUÇÃO

A água e a terra compõem a totalidade da superfície de nosso planeta e, durante toda a história humana, representaram desafios para o desenvolvimento das sociedades bem como para a ciência e seus estudos. Na engenharia civil, estes dois elementos se conectam em questões relacionadas à drenagem, estabilização do solo, controle da erosão, otimização do consumo de materiais e o uso de novas tecnologias é necessário para a resolução destes problemas.

Tais questões são de suma importância, uma vez que influenciam diretamente em aspectos cruciais presentes em qualquer projeto de engenharia civil: o custo, o tempo de execução, a durabilidade e o impacto ambiental.

Estes dois últimos, particularmente, são os principais benefícios atribuídos à utilização das tecnologias de geossintéticos, que são o tema deste presente trabalho, já os dois primeiros se beneficiam de uma economia preciosa de tempo quando se utilizam os softwares, que são programas de computador que ajudam nos cálculos de projeto.

A tendência de urbanização nas cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na população e no meio ambiente. Estes impactos têm deteriorado a qualidade de vida da população, através do aumento da frequência e do nível das inundações, redução da qualidade de água e aumento de materiais sólidos nos corpos receptores (SUDERHSA,2002).

Os geossintéticos emergiram em resposta à crescente demanda por sustentabilidade ambiental e econômica na engenharia civil contemporânea. Atualmente, há um reconhecimento crescente da necessidade de reduzir a utilização de recursos não renováveis. Esse contexto impulsionou investigações contínuas em algumas das mais renomadas instituições acadêmicas e de pesquisa, transformando os geossintéticos em uma indústria dinâmica, caracterizada por inovação constante e pela geração de soluções que têm impactado positivamente os principais projetos de infraestrutura em todo o mundo (WAVIN,2021).

Com a lei Nº14.026/2020, conhecida como novo marco legal do saneamento, a drenagem urbana passa a ser um direito universalizado para todos os brasileiros, então sua ampliação no país que já era necessária, passa a ser obrigatória. HEINEN (2022) observou que durante as discussões no Senado Federal e na Câmara dos Deputados, todos os participantes concordaram que era necessário criar uma nova legislação que incentivasse os investimentos privados, estabelecesse condições reais para a implementação das metas dos planos nacionais,

regionais e municipais no que diz respeito à integralidade e à universalidade, e estipulasse regras setoriais nacionais para uniformizar o direito ao saneamento no país. Isso expõe o estado crítico que o saneamento básico brasileiro está.

Segundo Mendonça (2009) pode-se afirmar que, no contexto urbano brasileiro, a administração das águas pluviais frequentemente fica em segundo plano em relação ao desenvolvimento das cidades. Os recursos financeiros primários são direcionados ao tratamento de água e esgoto, impulsionados pela busca por lucro das empresas de saneamento e pela demanda da sociedade por serviços de qualidade. No entanto, negligenciar a gestão das águas pluviais acarreta em consequências desastrosas. As inundações assolam a maioria das grandes cidades do Brasil, o que expõe a ineficácia dos sistemas de drenagem existentes e a urgência de implementar soluções adequadas.

A Engenharia Civil tem experimentado um período de significativo avanço tecnológico, especialmente no que se refere a programas computacionais aplicados. Ao longo das décadas surgiram diversos produtos que visam automatizar processos de cálculo, desenho, planejamento, entre outros, com alta precisão e rapidez, além de fornecer detalhamentos completos dos resultados obtidos (MODLER, 2003). Esses programas, ou softwares, já são amplamente utilizados por muitas empresas de engenharia civil e o domínio dessas ferramentas pelos profissionais do setor torna-se cada vez mais essencial de tal modo que já é comum que faculdades de engenharia ofereçam minicursos deles em seus eventos científicos.

Neste contexto o presente trabalho procura explorar as potencialidades de um software gratuito em específico cuja função principal é projetar utilizando geossintéticos. Embora ele ofereça nove diferentes tipos de projeto, aqui especificamente nos interessa o projeto de sistemas de subdrenagem em vias.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é utilizar o software Geosoft PAVCO V4 para simular um projeto e comparar, para uma mesma via, as diferentes opções de sistemas de subdrenagem, bem como analisar a capacidade do software e sua possível aplicabilidade para outros projetos no estado do Amapá.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e comparar o desempenho técnico de sistemas como o dreno francês e o geocomposto drenante vial, considerando critérios de transmissividade, permissividade e colmatação;
- Realizar simulações de projeto para dimensionar sistemas de subdrenagem e validar a eficácia do software no contexto de infraestrutura viária;
- Quantificar os custos associados à implementação de diferentes sistemas de subdrenagem e identificar os principais fatores que contribuem para as economias observadas;
- Investigar as condições necessárias para a utilização do software Geosoft PAVCO V4 em outros projetos de infraestrutura no estado do Amapá, considerando particularidades regionais;
- Examinar como o uso de geossintéticos pode reduzir os impactos ambientais em relação aos métodos convencionais, com ênfase na sustentabilidade;
- Registrar as etapas de utilização do software em questão, destacando facilidades, dificuldades e aprendizados ao longo do processo de projeto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DRENAGEM URBANA

Ao longo de toda a história da humanidade tem existido uma conexão intrínseca entre as cidades e os corpos d'água. Desde os primórdios das comunidades urbanas, observa-se a sua tendência em se estabelecerem próximas aos cursos de água, dado que a disponibilidade hídrica facilita o abastecimento para consumo e higiene das populações, além de viabilizar a gestão dos dejetos. A disponibilidade de água não apenas é crucial para as atividades agrícolas, mas também desempenha um papel fundamental nas comunicações, transportes e no comércio. No entanto, esta proximidade histórica muitas vezes resulta em problemas frequentes de inundação.

Até meados do século XVIII as inundações periódicas eram amplamente toleradas e vistas como uma consequência aceitável da proximidade com a água, essencial para a cidade. Foi apenas no século XIX, com as devastadoras epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa, que houve uma mudança significativa. Esse período marcou o surgimento dos princípios de higiene pública (RECESA, 2007).

Sabe-se que o fenômeno da urbanização desencadeia uma série de modificações no sistema hídrico urbano e que, se não geridas adequadamente, tais modificações podem instaurar um contexto de incerteza frente aos perigos de inundação e alagamentos durante os períodos chuvosos. Este processo resulta na transformação e diminuição da cobertura vegetal primária. As áreas das bacias hidrográficas são impermeabilizadas e, para a gestão das águas pluviais (de acordo com o paradigma convencional de drenagem urbana), são instaladas infraestruturas como galerias de águas pluviais e canais os quais, embora atenuem problemas de alagamento em nível local, ocasionam uma alteração significativa no equilíbrio do ciclo hidrológico natural. (ADASA, 2018)

As metas primordiais da drenagem urbana englobam:

- Erradicar os episódios de alagamentos nas cidades, reduzindo os riscos e a necessidade de intervenções corretivas;
- Reduzir a contaminação do escoamento pluvial, preservando a saúde dos cursos d'água e reservatórios após o fluxo pelas áreas urbanas.
- Mitigar os efeitos do ravinamento, erosão e degradação ambiental provocados pelo aumento da velocidade de escoamento pluvial decorrente do processo de urbanização.

De acordo com o novo marco legal do saneamento básico, a lei federal nº 14.026 de

2020, a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas consistem nas atividades, infraestrutura e instalações operacionais destinadas à drenagem de águas pluviais, transporte, retenção para redução de picos de cheias, tratamento e disposição final dessas águas, incluindo a manutenção e fiscalização preventiva das redes. A lei também cita a universalização do acesso e efetiva prestação do serviço.

A engenharia de drenagem enfrenta o desafio intrínseco de lidar com o clima, um fenômeno imprevisível e incontrolável que apresenta alto grau de incerteza. Para estimar a intensidade das chuvas, essencial para calcular volumes e vazões de águas pluviais, utiliza-se o histórico de precipitações com a suposição de que os padrões passados se repetirão no futuro. Por meio de processos estatísticos, é possível avaliar a probabilidade de uma chuva crítica atingir ou exceder determinada intensidade.

As atividades relacionadas à engenharia civil, como a construção de barragens, rodovias, ferrovias, aeroportos, shoppings, hidrelétricas e grandes empreendimentos em geral, geram grandes impactos ao meio ambiente (AMARAL,2019). Tais atividades exigem um conhecimento aprofundado em geotecnia para evitar que essas obras se tornem desastres ambientais no futuro.

De acordo com SANTOS (2023) a urbanização, ao tornar a cidade impermeável, reduz sua capacidade de absorver águas pluviais, resultando em um rápido escoamento em direção aos sistemas de drenagem, como valetas, galerias, canais, bueiros, córregos e rios, os quais muitas vezes não estão dimensionados para lidar com tal volume. Esse fenômeno é comumente associado às enchentes, sendo este seu tipo mais frequente. Esse autor também afirma que anualmente a população brasileira tem sido confrontada com o crescente número de vítimas, muitas delas fatais, e com significativas perdas materiais e financeiras devido a enchentes urbanas e deslizamentos de encostas.

Ao contrário de países afetados por desastres naturais como terremotos, vulcões e furacões, no Brasil, essas tragédias hidrológicas, geológicas e geotécnicas recorrentes estão diretamente ligadas à ação humana. Elas são provocadas e exacerbadas pela negligência, especialmente por parte das administrações públicas e privadas que frequentemente desconsideram a relação entre a expansão urbana e as características naturais dos terrenos ocupados.

Tabela 1 - Medidas para o combate às enchentes urbanas

<b>COMBATE ÀS ENCHENTES URBANAS</b> (AÇÃO COMBINADA E COMCOMITANTE EM 2 FRENTES)
<p><b><u>MEDIDAS ESTRUTURAIS</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO DAS CALHAS DOS RIOS PRINCIPAIS</i></li> <li>• <i>DESASSOREAMENTO PERMANENTE DE TODA A REDE DE DRENAGEM</i></li> <li>• <i>AMPLIAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGENS CONSTRUÍDAS</i></li> </ul>
<p><b><u>MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>AUMENTO DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA POR INFILTRAÇÃO E ACUMULAÇÃO</i></li> <li>• <i>RADICAL REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE ASSOREAMENTO: SEDIMENTOS, ENTULHO, LIXO.</i></li> <li>• <i>PLANEJAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO. REVERSÃO DA TENDÊNCIA DE ESPRALAMENTO GEOGRÁFICO</i></li> </ul>

Fonte: SANTOS, 2023

Os danos causados pelas enchentes à sociedade são imensuráveis, abrangendo perdas patrimoniais, logísticas, econômicas, sociais e humanas. Apesar das constantes promessas e planos para lidar com a situação, a realidade brasileira mostra um agravamento contínuo do problema. Como exemplo recente pode-se citar as inundações de 2024 no estado de Rio grande do Sul - mostradas na figura 1 - uma situação que combinou um evento climático sem precedentes e a negligência das autoridades locais.

Figura 1 - Enchente no Rio grande do Sul



Fonte: Jornal do comércio, 2024.

Embora as enchentes que ganhem mais destaque na mídia sejam aquelas que afetam os pontos cruciais do transporte urbano, aquelas que inundam bairros populares e periféricos são

as que têm repercussões humanas devastadoras, uma vez que numa questão de poucos minutos as economias familiares, que foram construídas ao longo de anos, são destruídas pela lama altamente poluída e contaminada.

A realidade é que a cada ano as cidades brasileiras estão menos preparadas para lidar com as enchentes em comparação com anos anteriores (SANTOS,2023). E essa tendência continuará nos próximos anos, a menos que haja uma mudança radical de atitudes e ações já que a situação pode ser descrita, sem hipérboles, como dramática.

Nesse contexto, urge a utilização de novas tecnologias, tanto materiais como de software, para que melhorem a eficiência e durabilidade dos sistemas de drenagem em meios urbanos, tais como o uso de geossintéticos e de softwares especializados em projetos, ambos assuntos desse presente trabalho.

## **2.2 GEOSSINTÉTICOS**

Geossintético é definido como um produto polimérico destinado a ser utilizado em obras geotécnicas e de proteção ambiental. Sua definição é abrangente e engloba tanto produtos derivados de polímeros manufaturados quanto naturais, embora os primeiros sejam predominantes na maioria das aplicações.

Os geossintéticos são materiais que possuem grande durabilidade, versatilidade, eficiência, segurança e também são úteis na redução de impactos ambientais. Eles são utilizados principalmente para resolver problemas geotécnicos já que a natureza sintética desses produtos os torna próprios para a utilização em obras de terra onde um alto nível de durabilidade é exigido.

Esses produtos emergiram como componentes fundamentais em projetos de engenharia civil e geotecnia, dada sua capacidade singular de otimizar o manejo de solos e água. Esta eficácia é atribuída às suas propriedades distintas, tais como a elevada resistência à tração, o comportamento hidráulico, longa vida útil, resistência química e biológica robusta e a facilidade de implementação. Estes atributos acabam por colocar os geossintéticos como alternativas superiores às soluções convencionais.

Segundo a IGS-Brasil(2020) os geotêxteis e os produtos relacionados à eles, quando utilizados em sistemas de drenagem, desempenham uma ou mais das seguintes funções: filtração, separação e drenagem.

A substituição dos métodos tradicionais pela incorporação de geossintéticos se revela

uma escolha mais sustentável e economicamente viável. Tal transição resulta em benefícios significativos tanto do ponto de vista econômico quanto técnico no desenvolvimento de infraestrutura. Adicionalmente, a adoção desses materiais minimiza o impacto ambiental ao reduzir a necessidade de exploração de recursos pétreos não renováveis e mitigar as emissões de gases do efeito estufa, notadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

A quantidade limitada de normas, livros e legislações sobre geossintéticos no Brasil, assim como a escassez de mão de obra especializada no uso desse produto, são desvantagens que afetam sua competitividade no mercado (AMARAL,2019).

Dentre as principais aplicações dos geossintéticos, destacam-se: separação e estabilização do solo, sistemas de subdrenagem, reforço de vias, pavimentação e repavimentação, estruturas de contenção, controle da erosão, sistemas de impermeabilização e Geoland (WAVIN,2021).

### **2.2.1 HISTÓRICO DO USO DE GEOSSINTÉTICOS NO BRASIL**

A utilização de geossintéticos no Brasil começou na década de 1970, ganhando impulso significativo a partir dos anos 1990. Os geotêxteis foram os primeiros tipos de geossintéticos a serem empregados em obras geotécnicas no país, especialmente em drenagem e filtração, há cerca de 40 anos. No entanto, há pouca ou nenhuma informação disponível na literatura técnica sobre essas obras pioneiras, exceto por relatos superficiais de profissionais envolvidos (PALMEIRA, 2018).

O desenvolvimento de materiais sintéticos da indústria têxtil só foi possível graças à criação de diversos polímeros, dos quais vale citar:

- Policloreto de vinil (1913)
- Poliamida (1930)
- Poliéster (1930)
- Polietileno (1949)
- Polipropileno (1954)

Na década de 1950, surgiram as primeiras aplicações de geotêxteis tecidos como filtros em obras hidráulicas:

- Projeto Delta (1953): Após um desastre natural na Holanda, foram utilizados 10 milhões de metros quadrados de tecidos para que se formasse seu sistema de defesa contra a subida do nível do mar.

- Estados Unidos: Controle de erosão marítima na Flórida..

Em 1966, os Estados Unidos registraram a primeira utilização de geotêxtil não tecido em recapeamento asfáltico. Em 1967, no Japão, foram utilizadas georredes em projetos de reforço de aterros, levando ao desenvolvimento das geogrelhas. Na Europa, em 1968, começaram as primeiras aplicações de geotêxteis não tecidos como separadores e reforços em obras viárias e no controle de erosão.

Durante os anos 1970, as aplicações de geotêxteis se proliferaram:

- Construção de aterros rodoviários sobre solos de baixa capacidade de suporte.
- Muros em solo reforçado, filtros de drenagem e barragens, como a Frauenau Dam (Alemanha Ocidental) e a Hans Stridjon Dam (África do Sul).
- Criação de normas específicas por grupos técnicos na França, Alemanha e Estados Unidos.
- Primeira conferência internacional sobre o uso de tecidos em geotecnia (1977), onde foram propostos os termos "geotêxtil" e "geomembrana".

No Brasil, as primeiras aplicações de geotêxteis ocorreram em 1971, principalmente em obras rodoviárias. O primeiro geossintético fabricado no Brasil foi um geotêxtil não tecido de filamentos contínuos, produzido comercialmente desde 1973. A drenagem da Rodovia dos Bandeirantes foi uma das principais aplicações, utilizando mais de 500.000 metros quadrados.

**Figura 2 - Rodovia dos Bandeirantes, SP (1978)**



Fonte: Arquivo Nacional

Nos anos 1980, surgiram diversos métodos de dimensionamento e a International Geosynthetic Society (IGS). Eventos importantes incluíram:

- II International Conference on Geotextiles (Las Vegas, 1982)
- III International Conference on Geotextiles (Viena, 1986)

No Brasil, começou a fabricação de geotêxteis tecidos, com destaque para o reforço de aterros no Conjunto Residencial Tancredo Neves (1981). A comercialização de geotêxteis não tecidos cardados e a produção de georredes também iniciaram nesta década. A primeira aplicação de geomembrana nacional de PVC ocorreu em 1982 na Alcoa Alumínio S/A, no Maranhão.

A década de 1990 foi marcada por avanços teóricos, análises de casos históricos e novas aplicações, resultando no desenvolvimento de mais de 400 produtos para mais de cem aplicações diferentes. Eventos internacionais relevantes incluíram:

- IV International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products (Países Baixos, 1990)
- V International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products (Cingapura, 1994)
- VI International Conference on Geosynthetics (Atlanta, 1998), onde o termo "geossintético" foi cunhado.

No Brasil, o Seminário Sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia foi realizado em 1992, seguido por outros eventos significativos. Em 1994, a Associação Brasileira de

Geossintéticos - IGS-Brasil foi fundada. Durante essa década, diversos produtos foram lançados, como geogrelhas, barreiras geossintéticas e geocélulas.

Nas décadas de 2000 e 2010, houve um avanço significativo dos geossintéticos no Brasil, impactando notavelmente a esfera acadêmica. Um marco foi o 9ICG - Conferência Internacional sobre Geossintéticos no Guarujá, em 2010. Este evento, organizado pela IGS-Brasil e ABMS, foi um atestado do prestígio da engenharia geotécnica brasileira e da liderança do Brasil no assunto na América Latina.

**Tabela 2 - Histórico brasileiro em congressos internacionais de geossintéticos**

Participação do Brasil em congressos internacionais de geossintéticos					
Congresso	Data	Local	Trabalhos brasileiros	Trabalhos apresentados	Participação brasileira (%)
I International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics	1977	Paris	01	67	1,5
II International Conference on Geotextiles	1982	Las Vegas	02	138	1,5
III International Conference on Geotextiles	1986	Viena	01	232	0,5
IV International Conference on Geotextiles	1990	The Hague	04	234	1,7
V International Conference on Geotextiles	1994	Cingapura	06	280	2,0
6 <sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics	1998	Atlanta	07	185	3,7
7 <sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics	2002	Nice	23	316	7,3
8 <sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics	2006	Yokohama	23	355	6,5
9 <sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics	2010	Guarujá	58	351	16,5
10 <sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics	2014	Berlim	40	344	11,5

Fonte: VERTEMATTI,2015

Em 2001, teve início a elaboração da Primeira Edição do MBG - Manual Brasileiro de Geossintéticos, uma iniciativa patrocinada pela ABINT. Este mesmo manual, atualmente na sua segunda edição (publicada em 2015) é uma das fontes desse presente trabalho.

### 2.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS

Com a evolução tecnológica crescente surgem vários novos tipos de geossintéticos anualmente e, como resultado disso, muitos deles ainda não foram completamente definidos e

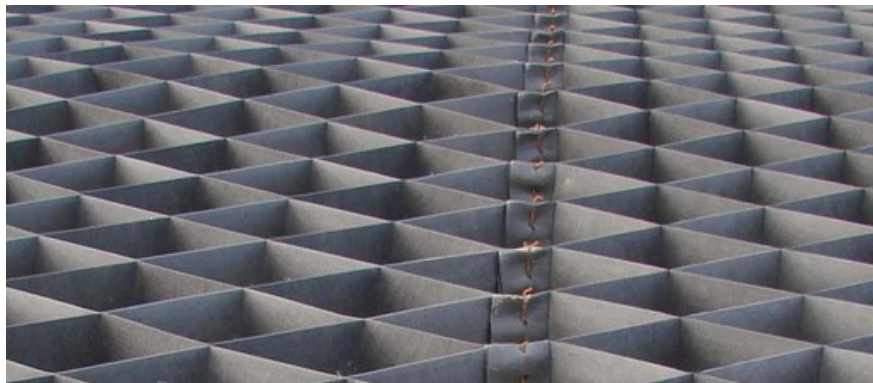
classificados. Além disso, as categorizações, definições e siglas variam entre países e organizações.

Tanto a IGS quanto a IGS-Brasil tem foco em padronizar e regular a terminologia e os testes relacionados aos geossintéticos em escala global e regional. Já no Brasil, a ABNT trabalha continuamente para estabelecer normas para os geossintéticos, sempre alinhadas com as diretrizes da ISO, IGS e IGS-Brasil.

A seguir, são apresentadas a classificação, as definições e as siglas dos principais geossintéticos existentes, de acordo com a NBR ISO 10318 - Geossintéticos - Termos e Definições (2016):

- Geossintético (GSY): Termo genérico que se refere a um produto no qual pelo menos um dos seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural. Pode ser apresentado na forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, e é utilizado em contato com o solo ou outros materiais em aplicações de engenharia geotécnica e civil.
- Geocélula (GCE): Estrutura polimérica tridimensional, permeável, em forma de colmeia ou similar, produzida a partir de tiras de geossintéticos ligadas entre si.

**Figura 3 - Geocélula Webflex**



Fonte: verticalgreen.com.br

- Geocomposto (GCO): Material industrializado formado pela sobreposição ou associação de materiais, sendo que pelo menos um deles é um produto geossintético.

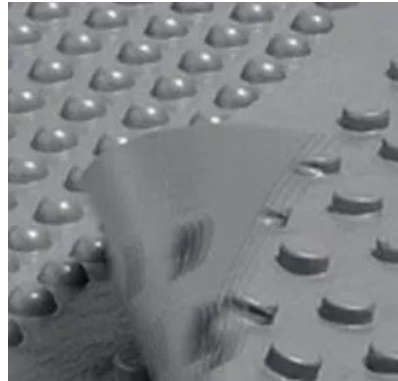
**Figura 4 - Geocomposto drenante**



Fonte: geomembrana.com.br

- Geoespaçador (GSP): Estrutura tridimensional à base de polímero, projetada para criar um espaço de ar no solo e/ou outros materiais, em aplicações de engenharia geotécnica e civil.

**Figura 5 - Membrana geoespaçadora**



Fonte: loja.costalion.com.br

- Geogrelha (GGR): Estrutura polimérica planar constituída por uma malha aberta de elementos resistentes à tração, que podem ser unidos por extrusão, solda ou entrelaçamento, e cujas aberturas são maiores que os elementos constituintes.

**Figura 6 - Geogrelha**



Fonte: diprotecgeo.com.br

- Geomanta (GMA): Estrutura tridimensional permeável constituída por monofilamentos poliméricos e/ou outros elementos, sintéticos ou naturais, interligados por meio mecânico e/ou térmico, e/ou químico.

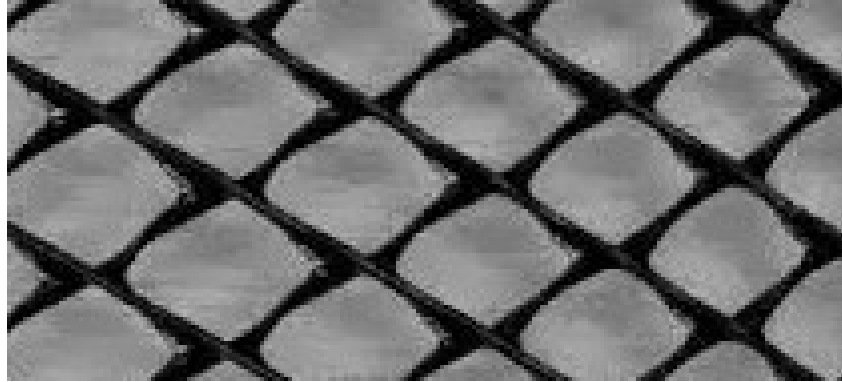
**Figura 7 - Geomanta PVC**



Fonte: viaencosta.com.br

- Georrede (GNT): Geossintético constituído por conjuntos de elementos paralelos superpostos e completamente conectados a outros elementos semelhantes em vários ângulos.

**Figura 8 – Georrede**



Fonte: seagro.com.br

- Geotêxtil (GTX): Material têxtil plano, permeável, fabricado com polímero natural ou sintético, podendo ser tecido, não-tecido ou tricotado, utilizado em contato com o solo ou outros materiais em aplicações de engenharia geotécnica e civil.
- Geotêxtil não tecido (GTX-N): Geotêxtil fabricado a partir de fibras, filamentos ou outros elementos distribuídos aleatoriamente e interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos.

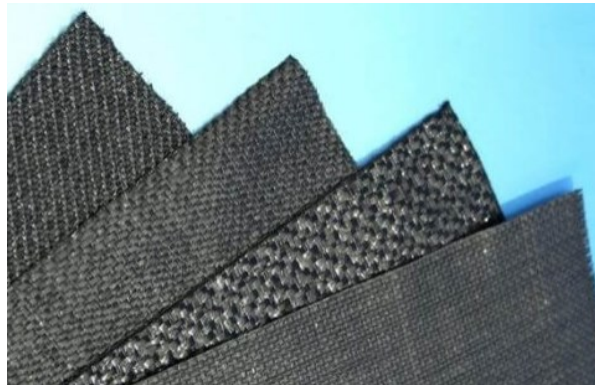
**Figura 9 - Geotêxtil não tecido**



Fonte: bidimwavingeossinteticos.com

- Geotêxtil tricotado (GTX-K): Geotêxtil produzido pelo entrelaçamento de um ou vários fios, filamentos ou outros elementos.
- Geotêxtil tecido (GTX-W): Geotêxtil produzido pelo entrelaçamento, geralmente em ângulo reto, de dois ou vários conjuntos de fios, filamentos ou outros elementos.

**Figura 10 - Geotêxtil tecido**



Fonte: bpmgeosynthetics.com

- Geotira (GST): Material polimérico na forma de uma tira, com largura inferior a 200 mm, utilizado em contato com o solo ou outro material de construção em aplicações de engenharia civil.
  - Barreira Geossintética (GBR): Material geossintético de baixa permeabilidade, utilizado em aplicações de engenharia geotécnica e civil, com a finalidade de prevenir ou limitar a percolação de fluidos através da estrutura. Também conhecido como geomembrana.
    - Barreira Geossintética Polimérica (GBR-P): Estrutura constituída por materiais geossintéticos produzidos industrialmente em forma de lâmina, atuando como uma barreira. Também conhecida como geomembrana.
      - Barreira Geossintética Argilosa (GBR-C): Estrutura constituída por materiais geossintéticos entremeados com argila, produzida industrialmente em forma de lâmina, atuando como uma barreira. Também conhecida como geocomposto argiloso.
        - Barreira Geossintética Betuminosa (GBR-B): Estrutura constituída por materiais geossintéticos entremeados com asfalto, produzida industrialmente em forma de lâmina, atuando como uma barreira. Também conhecida como geomembrana betuminosa.

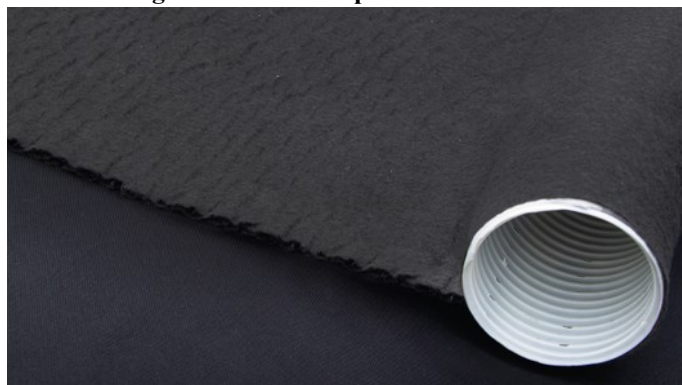
Diversos tipos de geossintéticos ainda não foram oficialmente definidos por organizações competentes. No entanto, eles são amplamente utilizados no Brasil e em todo o mundo e são referenciados no Manual brasileiro de geossintéticos (2015). Esta fonte em específico usa as seguintes nomenclaturas:

- Barreira Geossintética Composta (GCO-B): Geocomposto formado por dois ou mais geossintéticos acoplados entre si, resultando em um produto de baixa permeabilidade. É empregado em aplicações de engenharia geotécnica e civil para prevenir ou limitar a percolação de fluidos através da estrutura.
  - Fôrma Têxtil Tubular (FTT): Estrutura tubular linear feita de geossintéticos com

o objetivo de conter materiais de forma permanente ou provisória. Também conhecida como "salsichão".

- Fôrma Têxtil Plana (FTP): Estrutura plana feita de geossintéticos para conter materiais permanentemente ou temporariamente. Também referida como colchão polimérico.
- Fôrma Têxtil Cúbica (FTC): Estrutura cúbica feita de geossintéticos para conter materiais de maneira permanente ou temporária. Também chamada de bolsa ou "geobag".
- Geobarra (GBA): Geossintético em forma de barra utilizado principalmente para reforçar solos.
- Geocomposto Drenante (GCO-D): Geossintético desenvolvido para drenagem, geralmente composto por um geotêxtil que atua como filtro envolvendo uma georrede ou geoespaçador. Também inclui o geocomposto drenante vial, tecnologia citada neste trabalho.

**Figura 11 - Geocomposto drenante vial**



Fonte: [bidimwavegeossinteticos.com](http://bidimwavegeossinteticos.com)

- Geocomposto Resistente (GCO-R): Estrutura formada pela associação de geossintéticos distintos, projetada para reforçar solos.
- Geoexpandido (GFM): Geossintético fabricado a partir de um polímero expandido, criando uma estrutura tridimensional leve, principalmente para aliviar o peso de uma estrutura geotécnica.
- Tubo Dreno Geossintético (GDP): Tubo polimérico, perfurado ou ranhurado, liso ou corrugado, utilizado como elemento drenante e condutor em vários tipos de drenos subterrâneos. Também conhecido como geotubo.

### **2.2.3 FUNÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS**

Nos projetos de engenharia, os geossintéticos desempenham diversas funções. Nesse tópico então temos as principais funções deles de acordo com a NBR ISO 10318: Geossintéticos-Termos e Definições (2016):

- Controle de Erosão Superficial: Utilização de geotêxteis ou produtos similares para prevenir ou reduzir os movimentos do solo ou outras partículas na superfície, como em taludes, por exemplo.
- Drenagem: Coleta e encaminhamento de águas pluviais, subterrâneas e outros fluidos ao longo da superfície de um geotêxtil ou produto correlato.
- Filtração: Retenção de partículas de solo ou outras submetidas a forças hidrodinâmicas, permitindo a passagem do fluido em movimento através ou no interior de um geotêxtil ou produto correlato.
- Barreira: Utilização de geossintéticos para prevenir ou limitar a migração de fluidos.
- Proteção: Prevenção ou redução de danos localizados em um elemento ou material através do uso de geotêxteis ou produtos similares.
- Reforço: Aplicação do comportamento tensão-deformação de um geotêxtil ou produto correlato para melhorar o desempenho mecânico do solo ou outros materiais de construção.
- Separação: Prevenção da mistura entre dois materiais adjacentes de naturezas diferentes, como solos ou material de aterro, por meio do uso de geotêxteis ou produtos similares.

**Tabela 3 - Funções dos geossintéticos em projetos de engenharia**

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X
Geomembrana	X	-	-	-	-	-
Georrede	-	X	-	X	-	-
Geocélula	-	-	-	-	X	X
Geotubo	-	-	-	X	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X

(Vertematti, 2004)

Assim, conclui-se que o geotêxtil é o tipo de geossintético com maior variabilidade de aplicações.

## 2.2.4 GEOSSINTÉTICOS EM APLICAÇÕES DE DRENAGEM

Os geossintéticos têm se mostrado uma solução bastante eficaz, oferecendo uma boa relação custo-benefício e benefícios ambientais significativos, pois eliminam a necessidade de utilizar materiais escassos na natureza (BOTELHO,2011). Eles encontram aplicação em diversas obras geotécnicas e de proteção ambiental como meios drenantes. Entre eles, os geocompostos drenantes se destacam pela sua eficácia nesse contexto.

Embora os geotêxteis, especialmente os não-tecidos, também possam ser empregados, sua capacidade de descarga ao longo do plano é inferior em comparação com os geocompostos.

Para que um geossintético funcione adequadamente como elemento drenante, é necessário que ele satisfaça as seguintes condições:

- **Permissividade:** O elemento filtrante de um geocomposto ou o filtro geotêxtil de um dreno misto deve possuir uma permissividade adequada para permitir a passagem do fluido de forma satisfatória, sem causar acréscimos de poropressões no maciço.
- **Transmissividade:** Se o geossintético também for responsável pela condução do fluido ao longo de seu plano para outra região, deve possuir uma transmissividade suficiente para que essa transmissão ocorra sem obstáculos e sem trabalhar sob pressão.

É importante ressaltar que o cumprimento desses requisitos hidráulicos não dispensa a verificação das condições de filtro, as quais também são fundamentais.

A Linha de Geotêxteis BIDIM RT, cujos produtos e seus dados técnicos serão utilizados neste presente trabalho, foi desenvolvida para atender as necessidades específicas de uma gama de obras, oferecendo sempre um misto de alto desempenho com a devida economia para todos os tipos de projetos.

O Bidim RT é um geotêxtil não-tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, fabricado sob rigorosos padrões internacionais de qualidade, possui certificado ISO 9001 e suas características incluem elevada resistência química e mecânica, baixa fluência, maior resistência à radiação UV e alta resistência química e biológica a variados tipos de solo encontrados na natureza.

Esta certificação ISO 9001, citada anteriormente, é um padrão internacional que define os requisitos para um sistema de gestão da qualidade eficaz em uma organização. Emitida pela International Organization for Standardization, de sigla ISO, ela é amplamente reconhecida como uma referência global para assegurar a qualidade dos produtos e serviços oferecidos pelas

empresas. A obtenção desta certificação exige a implementação de um sistema de gestão da qualidade que inclua processos documentados, procedimentos, políticas e objetivos voltados para a satisfação do cliente, a melhoria contínua e a eficácia operacional.

As organizações certificadas pela ISO 9001 são submetidas a auditorias externas periódicas para garantir a conformidade com os requisitos da norma (ISO,2015).

## **2.3 GENERALIDADES DE PROJETO**

Desde o aparecimento dos Geossintéticos como novos materiais a serem empregados na engenharia civil, desenvolveram-se diferentes metodologias de projeto baseadas na experiência, investigação e modelos matemáticos, os quais são aplicados sob diferentes critérios de engenharia (WAVIN,2021).

Para se fazer um projeto de infraestrutura utilizando geossintéticos é necessária uma avaliação prévia, tal tipo de avaliação é conduzida com base na função principal para a qual os geossintéticos são especificados, como por exemplo: separação, reforço, drenagem, filtração ou proteção, permitindo o cálculo dos valores numéricos das propriedades necessárias. Dessa maneira, pode-se afirmar que a seleção de geossintéticos considera tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos.

Em casos específicos é necessário que um geossintético desempenhe múltiplas funções simultaneamente, nesses casos a escolha do geossintético apropriado será mais segura se ele puder cumprir várias funções ao mesmo tempo.

Neste tópico, será apresentado uma dessas metodologias para o uso de geossintéticos em obras de engenharia civil, especificadamente em drenagem urbana e sistema de subdrenagem em vias.

A engenharia, por vezes, é tanto ciência quanto arte pois, apesar da dificuldade existente em fazer previsões e tomar decisões, é necessário estabelecer fatores de segurança que levem em consideração as consequências de falhas, garantindo que a probabilidade destas seja compatível com as variabilidades reais das resistências e solicitações previstas (AOKI,2009). Por isso, neste presente trabalho será utilizado diversos fatores de segurança, sejam eles calculados pelo autor ou recomendados pela literatura.

O fator de segurança é determinado pela divisão do valor típico do ensaio da propriedade relevante para a função principal (valor admissível) pelo valor exigido para essa propriedade,

conforme determinado por algum método ou norma de projeto representativo da realidade.

Logo, a fórmula para o cálculo do fator de segurança é:

$$FS = \frac{\text{Valor admissível}}{\text{Valor exigido}}$$

Se o fator de segurança assim obtido for significativamente maior que a unidade, o geossintético selecionado é considerado adequado.

No desenvolvimento do projeto por função para geossintéticos, os passos incluem: avaliar a aplicação considerando os materiais em contato, selecionar um fator de segurança apropriado, especificar a função primária, calcular numericamente a propriedade exigida, determinar o valor admissível por ensaios, calcular o fator de segurança, compará-lo com o desejado, e, se necessário, reiniciar o processo com um geossintético de melhor qualidade.

Se o fator de segurança for aceitável, verifica-se a possibilidade de outras funções do geossintético e escolhe-se a mais abrangente. Este método será adotado neste trabalho para identificar a função primária do geossintético a ser utilizado.

Durante o processo de projeto, será considerado os dados de ensaios de caracterização em laboratório que resultaram na especificação técnica oficial, feitos pela empresa dona do geossintético e presentes em anexo.

Contudo, é importante notar que tais ensaios podem não refletir completamente as condições de comportamento "in situ" do Geossintético. Portanto, o valor da propriedade índice deve ser ajustado por meio de diversos fatores de segurança, conforme a seguinte equação:

$$\text{Valor admissível} = \frac{\text{Valor do ensaio}}{\text{Fatores de redução}}$$

Vale lembrar que os fatores de redução variam significativamente dependendo principalmente da função que o Geossintético desempenhará, e os fatores utilizados neste presente trabalho são especificamente os de aplicações de drenagem.

### **2.3.1 Fatores de redução para geotêxteis em aplicações de drenagem**

Um dos fatores de redução utilizados neste presente trabalho é o da colmatação. A colmatação física de um geotêxtil ocorre quando os espaços entre os fios poliméricos que

compõem o material são preenchidos por partículas sólidas, geralmente solo, bloqueando a passagem de líquidos e obstruindo as aberturas do geossintético. Isso resulta em uma redução significativa da sua permeabilidade.

Para se evitar a colmatção de geotêxteis e geocompostos drenantes, é essencial selecionar um solo que seja compatível com as aberturas visíveis e a capacidade de filtração do geotêxtil utilizado. Em outras palavras, o solo deve ser composto por partículas que não consigam passar pelo geotêxtil, criando assim uma camada pré-filtro. Isso não apenas previne a colmatção do geotêxtil, mas também melhora a eficácia do sistema de drenagem como um todo

Outro aspecto crucial a se considerar na seleção de um geotêxtil é a redução de vazios devido ao Creep, também chamada de fluência do geotêxtil. Devido às cargas de compressão que esses materiais enfrentam, é necessário incorporar um fator de redução que leve em conta a mudança ao longo do tempo na capacidade de fluxo do Geotêxtil. Este fenômeno se desenvolve gradualmente, e os fabricantes realizam ensaios específicos, como o ensaio de permissividade GR1 do Instituto de Pesquisa em Geossintéticos (GRI) GT1, que permite determinar esse fator de redução. Esses ensaios são conduzidos ao longo de 1000 horas, considerando o gradiente e o esforço de compressão aplicado ao Geotêxtil.

Há também a intrusão nos vazios, que aborda o fenômeno em que as partículas do solo penetram nos vazios do Geotêxtil e ficam retidas dentro dele, resultando na redução do fluxo através do material.

Já a colmatção química é relevante quando o líquido a ser filtrado ou drenado contém substâncias químicas que podem ficar retidas dentro do Geotêxtil, obstruindo ou vedando-o. Águas subterrâneas com alto teor alcalino, por exemplo, pode provocar a colmatção do Geotêxtil com depósitos de cálcio ou magnésio. É importante notar que líquidos contendo mais de 5000 mg/L de sólidos suspensos totais demandam uma consideração especial assim exigindo fatores de redução mais elevados.

Em projetos de drenagem o fator de redução devido à colmatção biológica pode ser crucial, especialmente em sistemas que visam capturar e drenar líquidos com alta concentração de microrganismos, como nos casos de captação e drenagem de lixiviados em aterros sanitários ou no manejo de biossólidos, justificando o uso de valores elevados no projeto. Nessas circunstâncias, quando os líquidos apresentam valores de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) superiores a 5000 mg/L, são necessários fatores de redução ainda mais substanciais.

**Tabela 4 - Fatores de redução para geotêxtil em aplicações de drenagem**

Área	Colmatação FRSCB	Redução de vazios por creep FRCR	Intrusão nos vazios FRIN	Colmatação química FRCC	Colmatação biológica FRBC
Filtros em muros de contenção	2.0 a 4.0	1.0 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistemas de subdrenagem	2.0 a 10	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de controle de erosão	2.0 a 10	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros em aterros sanitários	2.0 a 10	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenagem por gravidade	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenagem a pressão	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

Fonte: WAVIN, 2021

### 2.3.2 Fatores de redução para geocompostos em aplicações de drenagem

Neste tópico se expõe os fatores de redução para geocompostos, cuja principal função é transmitir o fluxo em seu plano. No caso deles, o fator de redução devido à colmatação e vedação não é considerado, uma vez que isso não influencia a drenagem dos fluidos dentro do sistema (WAVIN, 2021).

**Redução de vazios por Creep:** Esse aspecto é influenciado pelas condições particulares do local onde o geocomposto será instalado e pelas cargas que serão aplicadas sobre ele. O núcleo ou georrede do geocomposto está sujeito ao fenômeno de Creep sob compressão, o que pode resultar, ao longo do tempo, na redução da transmissividade do sistema devido à diminuição de sua espessura.

**Intrusão dos vazios:** Ao considerar os espaços presentes no núcleo do geocomposto, a intrusão se revela como um fator significativo no processo de projeto. As variáveis que influenciam esse fenômeno incluem o espaçamento entre os tendões da rede, sua rigidez, a do Geotêxtil de revestimento e o grau de cobertura sujeito à compressão aplicada sobre o sistema.

Já as colmatações química e biológica seguem a mesma lógica dos geotêxteis, citada no tópico anterior.

**Tabela 5 - Fatores de redução para geocompostos em aplicações de drenagem**

Área	Redução de vazios por Creep FRCR	Intrusão nos vazios FRIN	Colmatção química FRCC	Colmatção biológica FRBC
Campos esportivos	1.0 a 1.2	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Camada de interrupção de capilaridade	1.1 a 1.3	1.0 a 1.2	1.1 a 1.5	1.0 a 1.3
Lajes e áreas suspensas	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Muros de contenção, taludes de solo	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.1 a 1.5	1.0 a 1.5
Colchão drenante	1.3 a 1.5	1.2 a 1.4	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2
Drenos superficiais para coberturas de aterros sanitários	1.3 a 1.5	1.1 a 1.4	1.0 a 1.2	1.5 a 2.0
Camada primária de coleta de chorume (aterros sanitários)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0
Camada secundária de coleta de chorume (aterros sanitários)	1.5 a 2.0	1.4 a 2.0	1.5 a 2.0	1.5 a 2.0

Fonte: WAVIN, 2021

**Tabela 6 - Normas brasileiras da ABNT para geossintéticos**

Especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	
ABNT ISO 9862	Amostragem e preparação
ABNT ISO 9863	Espessura
ABNT ISO 9864	Gramatura
ABNT ISO 10318	Termos e Definições 1
ABNT ISO 10318	Termos e Definições 2
ABNT ISO 10319	Resistência à tração faixa larga
ABNT ISO 10320	Identificação na obra
ABNT ISO 11058	Permeabilidade hidráulica 2
ABNT ISO 12236	Puncionamento CBR

Fonte: WAVIN, 2021

**Tabela 7 - Manuais nacionais relacionados**

Especificação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) Normas (DNIT) e soluções de recomendações	
DNIT	Manual de Drenagem de Rodovias 2006
IGS Brasil	Geotêxteis em Rodovias 2018

Fonte: WAVIN, 2021.

## 2.4 SISTEMAS DE SUBDRENAGEM PARA VIAS

A água representa um dos desafios mais significativos na engenharia geotécnica, já que a sua acumulação excessiva pode resultar em deslizamentos, deformações em estradas e túneis, falhas prematuras em fundações e estruturas de contenção, deterioração dos solos de edifícios, danos em campos esportivos, entre outros. Nesse contexto, os geocompostos de drenagem desempenham um papel crucial, pois são projetados para captar e evacuar rapidamente a água presente nas estruturas. Isso é possível devido à sua alta permeabilidade e elevada taxa de fluxo (WAVIN,2021).

Segundo Suzuki (2013), a umidade em excesso no subleito e nas diversas camadas da estrutura do pavimento pode originar-se de várias fontes, tais como infiltração, percolação, capilaridade e movimentos de vapor de água. A água que se movimenta livremente na estrutura é uma das principais razões para a deterioração precoce dos pavimentos e a análise de sua percolação pode ser simplificada calculada pelas leis da hidráulica aplicadas ao escoamento em meios porosos.

Em grandes obras de infraestrutura, como a construção de rodovias, a ausência de um sistema de drenagem eficiente pode resultar no desgaste e na deterioração prematura do asfalto. Isso ocorre devido à infiltração da água da chuva no solo, o que reduz sua capacidade de suporte e provoca rachaduras, agravadas pela passagem de veículos. (SOUZA, 2015)

Sabe-se que a ausência de revestimento nos acostamentos permite que uma quantidade significativa de água se infiltre na estrutura do pavimento, comprometendo sua capacidade estrutural. A vegetação nas proximidades do pavimento sem revestimento nos acostamentos pode obstruir o escoamento superficial da água devido ao acúmulo de detritos. Isso resulta em um maior fluxo de água pela superfície do pavimento, facilitando a infiltração e levando à saturação do solo adjacente ao pavimento.

**Figura 12 - Acostamento sem revestimento, com canal de escoamento ao longo da superfície da pista**



Fonte: SUZUKI, 2013.

Um sistema eficaz de drenagem e/ou subdrenagem constitui um elemento crucial para promover a durabilidade das infraestruturas. De fato, a longevidade das estruturas viárias está intrinsecamente ligada à gestão adequada do excesso de água em sua composição. Em solos específicos, sobretudo os de composição granulométrica fina, a presença de excesso hídrico exerce influência significativa sobre os parâmetros de resistência, tornando-os suscetíveis a variações volumétricas e modificando os mecanismos de transmissão das pressões aplicadas. (WAVIN, 2021)

É de extrema importância que um sistema eficiente de subdrenagem em estradas seja complementado com estruturas de drenagem superficial, como sarjetas, valetas de talude e valas de drenagem, a fim de reduzir a infiltração de água no subsolo.

Os sistemas de drenagem subsuperficiais são compostos essencialmente por três elementos principais: a camada drenante, a camada de bloqueio (quando presente), e os drenos longitudinais de borda. A camada drenante é a principal responsável por coletar e direcionar a água infiltrada no solo. Em algumas situações, esta camada pode ser complementada por uma camada de bloqueio, cuja função é impedir a passagem de partículas finas que poderiam obstruir o sistema de drenagem.

Os drenos longitudinais de borda desempenham um papel crucial ao facilitar o escoamento da água coletada pela camada drenante. Estes drenos podem ou não ser equipados com tubulações, que aumentam a eficiência do sistema ao proporcionar um caminho controlado

e eficiente para o fluxo da água, evitando a saturação do solo e promovendo a estabilidade das estruturas geotécnicas associadas.

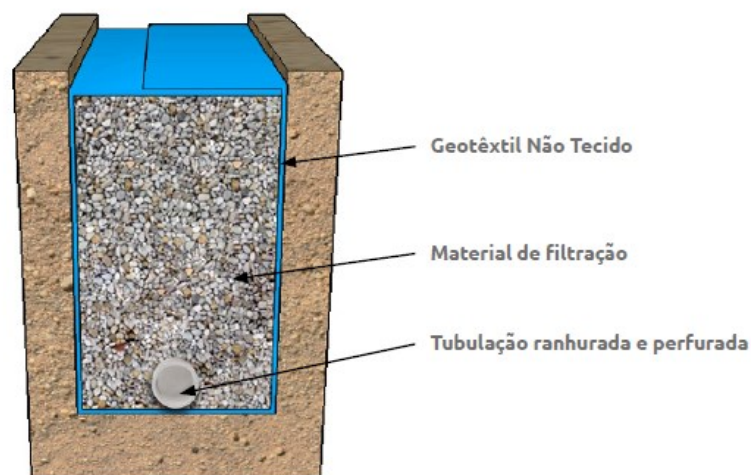
### 2.4.1 FILTRO FRANCÊS

Os drenos são elementos fundamentais para garantir uma drenagem subsuperficial eficaz na plataforma viária. Sua função é coletar e remover a água que penetra na estrutura do pavimento, conduzindo-a até os locais adequados para escoamento (SUZUKI, 2013).

O dreno cego, também conhecido como dreno francês, é utilizado em segmentos de rodovias onde o volume de água a ser drenado é relativamente pequeno (SUZUKI, 2013). O escoamento ocorre longitudinalmente através do material drenante que preenche a trincheira.

O propósito dos drenos em estradas é evitar a saturação completa da estrutura, capturando, direcionando e removendo a água que possa infiltrar no pavimento. Um sistema de drenagem subsuperficial eficaz e estável consiste em um meio filtrante e outro drenante. Tipicamente, esse sistema é composto por agregados pétreos, como brita e saibro de diversos tamanhos, um Geotêxtil Não Tecido perfurado por agulhas e tubos de drenagem.

Figura 13 - Componentes do dreno francês



Componente do dreno francês.

Fonte: WAVIN, 2021.

O Geotêxtil desempenha o papel de filtração, permitindo o fluxo de água e retendo as partículas finas, enquanto o material granular e os tubos são responsáveis pela drenagem da água.

A utilização de Geotêxteis tem se destacado como um dos métodos de filtragem mais vantajosos, principalmente devido ao aumento da durabilidade das obras, à facilidade de instalação, à redução dos custos de construção e por ser um sistema construtivo ambientalmente eficiente.

Além de sua utilização em estradas, há uma diversidade de aplicações em obras civis nas quais a implementação de um sistema de subdrenagem é fundamental para garantir o desempenho adequado da obra tanto a curto quanto a longo prazo.

Dentre essas aplicações, destacam-se os campos esportivos, os muros de contenção e aterros, os solos e fundações de edifícios, os aterros sanitários e a mineração. Muitos dos princípios e elementos dos projetos de subdrenos apresentados e utilizados nesse presente trabalho podem ser aplicados nessas diversas situações.

**Figura 14 - Subdrenagem em uma estrada**



Fonte: WAVIN, 2021.

## 2.5 GEOCOMPOSTO DRENANTE

O geocomposto drenante é um produto que combina um núcleo drenante com um geotêxtil filtrante, podendo ser fabricado industrialmente ou no próprio canteiro de obras. Ele é usado como alternativa a materiais tradicionais como pedra britada, seixo rolado, cascalho e argila expandida, proporcionando uma significativa redução na espessura do sistema drenante.

Nas aplicações de engenharia, os geocompostos drenantes têm várias funções importantes, tais como a drenagem de líquidos e gases, a retenção de partículas de solo e resíduos, e a proteção mecânica. Eles podem ser utilizados em uma ampla variedade de obras,

tais como:

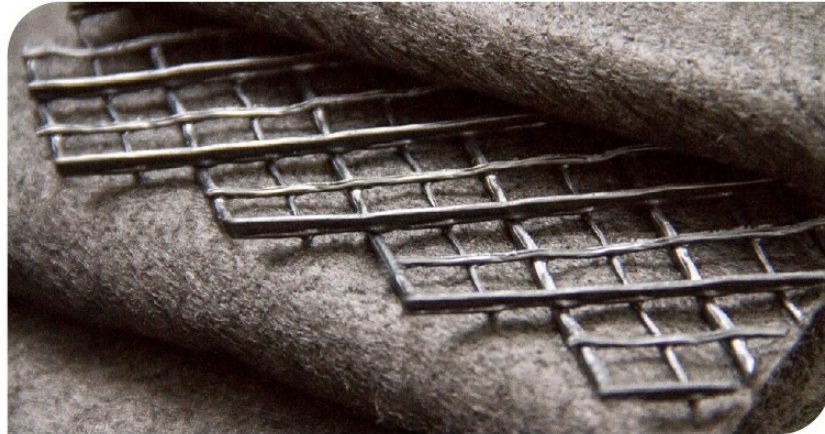
- Drenagem de líquidos e gases na base e cobertura de aterros sanitários;
- Drenagem de líquidos e gases em aterros de resíduos industriais;
- Drenagem de água em taludes;
- Drenagem em campos esportivos;
- Drenagem profunda e superficial de rodovias;
- Drenagem vertical em muros de arrimo e encontros de pontes;
- Sistemas de detecção de vazamentos em impermeabilizações;
- Proteção mecânica de geomembranas.

Os Geocompostos de drenagem são uma alternativa altamente vantajosa para gerenciar o fluxo de água uma vez que eles conseguem captar e encaminhar os fluidos de forma rápida e eficaz, reduzindo significativamente o tempo necessário para construir subdrenos devido à sua fácil instalação (WAVIN,2021). Isso resulta em uma redução de custos em comparação com as abordagens convencionais, já que eliminam a necessidade de explorar e transportar materiais pétreos não renováveis. Além disso, ajudam a mitigar o impacto ambiental negativo associado a essas práticas.

De acordo com a Wavin (2021), um geocomposto drenante é composto especificamente pela combinação de um geotêxtil não-tecido puncionado por agulhas e uma georrede ou lâmina de drenagem. Essa combinação aproveita as melhores qualidades de cada material, proporcionando uma solução ideal para a captação e condução de fluidos.

A função do geotêxtil nesse sistema é atuar como filtro, retendo o solo e permitindo a passagem da água, que posteriormente será conduzida pela georrede ou pela lâmina de drenagem.

**Figura 15 - Geocomposto drenante**



Fonte: [bidinwavingeossinteticos.com](http://bidinwavingeossinteticos.com)

A georede é um geossintético especialmente projetado para conduzir fluidos, sendo fabricado com um material resistente a fatores térmicos, químicos e biológicos presentes no solo. Ela é constituída por um sistema romboidal de tendões sobrepostos e interligados, formando canais com alta capacidade de drenagem, ideal para aplicações em geotecnia, meio ambiente, hidráulica e engenharia de transportes.

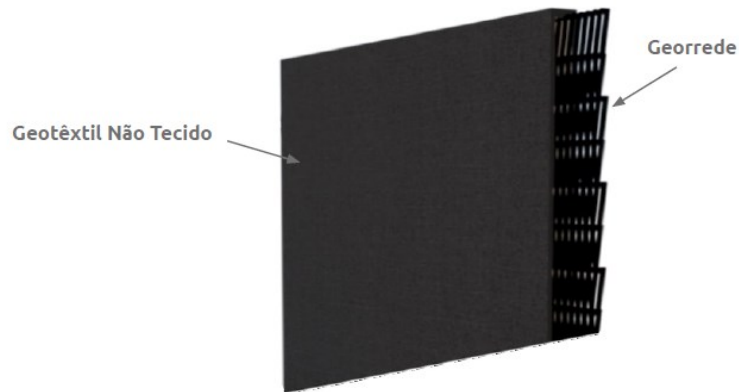
A lâmina de drenagem, possui alta resistência à compressão e à ação de agentes químicos. Com nódulos de 8 mm de altura, ela permite uma condução eficiente dos fluidos em seu próprio plano.

Assim, os Geocompostos de drenagem emergem como uma solução inovadora na engenharia civil, tanto para projetos de infraestrutura quanto para construções prediais uma vez que eles proporcionam uma construção mais eficiente e diminuem os custos de implementação dos sistemas de subdrenagem.

### 2.5.1 GEOCOMPOSTO DRENANTE PLANAR

O geocomposto drenante planar é um material que combina dois geossintéticos: um geotêxtil não tecido puncionado por agulhas e uma georrede.

Figura 16 - Diagrama de um geocomposto drenante planar



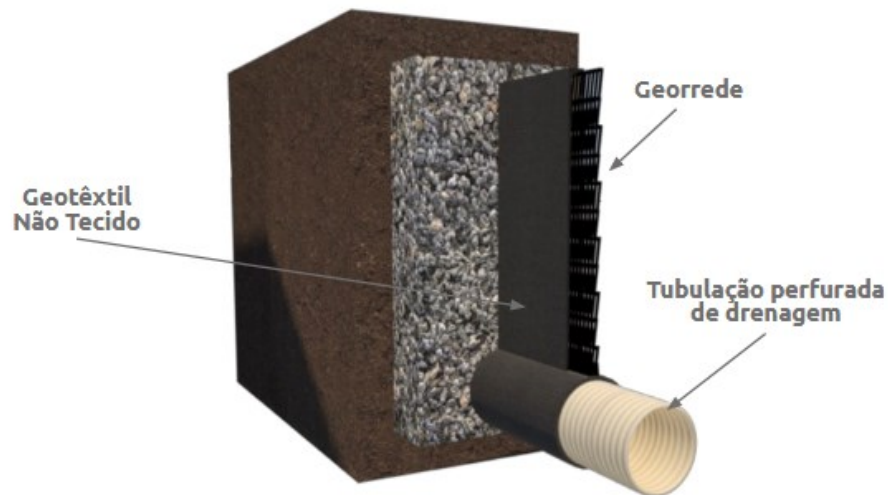
Fonte: WAVIN, 2021.

Quando o geocomposto drenante planar é combinado com uma tubulação de drenagem perfurada para evacuar os fluidos captados, ele é chamado de geocomposto drenante vial, que é o próximo tópico.

### 2.5.2 GEOCOMPOSTO DRENANTE VIAL

O geocomposto drenante vial é um sistema que combina as excelentes propriedades hidráulicas de três elementos: geotêxteis não tecidos puncionados por agulha, georrede e tubulação perfurada de drenagem. Esse sistema pré-fabricado de drenagem, quando instalado em valas ou trincheiras, permite captar e evacuar os fluidos com alta eficiência, sendo ela ainda maior que a do geocomposto drenante comum(WAVIN,2021).

**Figura 17 - Diagrama de um geocomposto drenante vial**



Fonte: WAVIN, 2021.

Os geocompostos de drenagem podem ter várias aplicações, onde eles seriam necessários para aliviar as pressões hidrostáticas e/ou subpressões de fluxos. Algumas destas aplicações possíveis podem ser:

- Campos esportivos;
- Muros de contenção em solo reforçado e aterros;
- Muros de contenção em concreto;
- Barragens;
- Diques;
- Jardins e gramados;
- Subsolos e fundações de edificações;
- Aterros sanitários;
- Operações de mineração.

**Figura 18 - Geocomposto drenante vial**



Fonte: WAVIN, 2021.

Algumas vantagens do geocomposto drenante vial incluem:

- Menor volume de escavação, já que requer uma vala de apenas 30 cm de largura;
- Redução no consumo de materiais de dreno, já que necessita de menos material para o preenchimento da vala;
- Substituição de materiais, já que permite o uso de materiais locais em vez de granulares selecionados;
- Maior vida útil, já que comparado ao dreno francês convencional, apresenta menor risco de colmatção.

**Tabela 8 - Aplicações, usos e tipo de geocomposto de drenagem**

Aplicação	Uso	Tipo de Geocomposto
Estradas	Drenagem transversal	Geocomposto drenante HF
	Drenagem longitudinal	Geocomposto drenante vial
Edificações	Fundações	Geocomposto drenante vial
	Drenagem perimetral	Geocomposto drenante vial
	Lajes de subpressão	ExtraDren
	Muros	ExtraDren + Geocomposto vial

Fonte: WAVIN, 2021.

**Figura 19 - Subdrenagem em estradas com geocomposto drenante vial**



Fonte: WAVIN, 2021.

O emprego de geocompostos de drenagem tem substituído os sistemas tradicionais devido ao prolongamento da vida útil do sistema de drenagem, à facilidade de instalação e à redução dos custos totais de construção.

Para a elaboração de um projeto eficaz de sistema de drenagem utilizando geocompostos, é imperativo considerar os seguintes aspectos fundamentais:

- Determinar os locais mais apropriados para a captação dos fluidos.
- Estimar a vazão crítica para um trecho específico do projeto, a qual corresponde à soma das vazões provenientes da água subterrânea e/ou da infiltração superficial.
- Selecionar os geocompostos de drenagem a serem utilizados no sistema de filtração.
- Definir o sistema de evacuação dos líquidos captados pelos geocompostos de drenagem. No caso do geodren vial é essencial que esse sistema utilize um tubo especial para drenagem.

O emprego de geocompostos de drenagem tem substituído os sistemas tradicionais devido ao prolongamento da vida útil do sistema de drenagem, à facilidade de instalação e à redução dos custos totais de construção (WAVIN,2021). Esses geocompostos são materiais de alta qualidade, fabricados de acordo com processos normatizados, com o objetivo de alcançar as resistências mecânicas e propriedades hidráulicas estabelecidas por normas internacionais.

## 2.6 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE GEOSOFT PAVCO 4.0

De maneira geral os diversos ramos da engenharia utilizam constantemente ferramentas computacionais e com a engenharia civil isso não é diferente. Durante a formação de novos engenheiros é fundamental o uso amplo e bem fundamentado dessas ferramentas (DA SILVA PASSOS, 2017). Porém, nota-se também que a utilização de recursos computacionais no processo de ensino-aprendizagem das disciplinas nos cursos de Engenharia Civil ainda é pouco explorada, principalmente devido à falta de recursos das instituições de ensino e à falta de capacitação docente (BORÇATO, 2022).

O software foco deste trabalho é o Geosoft PAVCO 4.0, que é um software gratuito desenvolvido pela Pavco Wavin na Colômbia e está disponível para todos os países da América Latina. Este software está acessível em três idiomas: espanhol, inglês e português.

Com o Geosoft PAVCO v4, é possível realizar projetos inovadores com até 50% de economia nos investimentos e processos de construção mais rápidos, reduzindo os tempos de execução em até 40%. A plataforma foi criada pelo departamento técnico de geossintéticos da Pavco Wavin, que tem mais de 40 anos de experiência, e permite a realização de modelos analíticos eficientes em tempo recorde.

Em um cenário onde poucas empresas desenvolvem ferramentas gratuitas que atendem às necessidades técnicas da América Latina, a Pavco Wavin criou a Geosoft para oferecer soluções eficientes e sustentáveis para a construção. O software inclui a versão 4.0 e um livro técnico intitulado "Design de Infraestrutura com Geossintéticos" na sua edição atual, a décima, datada de 2021, que é uma das fontes deste presente trabalho.

O Geosoft tem sido utilizado por empresas de consultoria e design em diversos países da América Latina há mais de 15 anos, em macroprojetos de infraestrutura e outros setores. Segundo Karolina Álvarez Barrera, Coordenadora de Marketing da Pavco Wavin Geossintéticos, “Na Pavco Wavin, não nos preocupamos apenas em entregar produtos de alta qualidade, mas também em criar ferramentas que complementem o trabalho de designers e construtores, facilitando seu trabalho através da inovação.”

O software gratuito, disponível há mais de 20 anos, pode ser usado em toda a América Latina e está adaptado às normativas específicas de cada país. Na Colômbia, projetos importantes como o Cais de Guatapé, a via Alto Magdalena e o Centro de Eventos de Barranquilla foram desenvolvidos com esta ferramenta.

**Figura 20 - Cais de Guatapé, Colômbia**



Fonte: Oriente Antioqueno

**Figura 21 - Via alto Magdalena, também chamada de Via Honda-Puerto Salgar-Girardot**



Fonte: altomagdalena.com

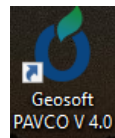
**Figura 22 - Centro de eventos Puerta de Oro, localizado em Barranquilla na Colômbia**



Fonte: Revista Pyn

A ferramenta conta com 17 mil downloads até o final de 2021, ano do lançamento da quarta versão deste software.

**Figura 23 - Ícone do Software Geosoft v4**

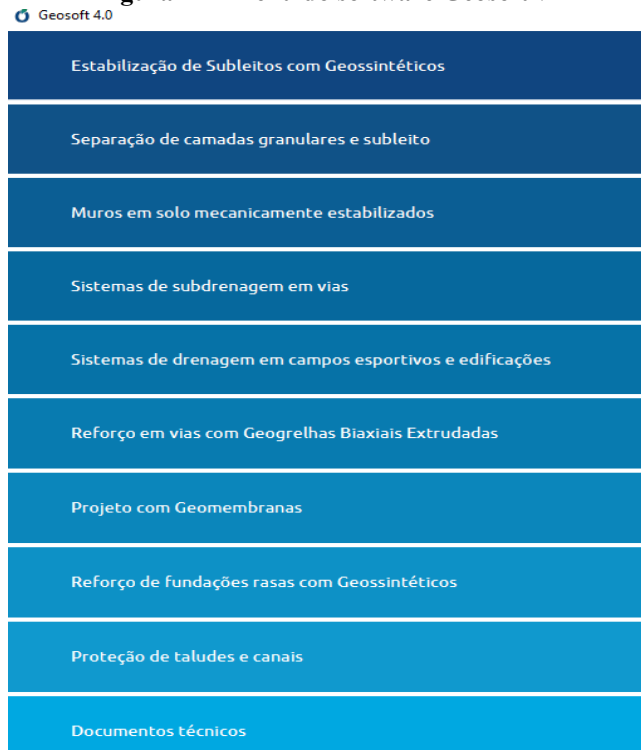


Fonte: Autor

O menu inicial é simples e direto, contendo 10 opções: 9 módulos de projeto e uma seção de documentos técnicos, que inclui normas, fichas técnicas, manuais de projeto, etc.

Antes de iniciar o projeto, é necessário criar um arquivo de terminação .PVO4 para armazenar as informações do projeto. Inicialmente, deve-se definir o nome do projeto, o nome da empresa, a localização e adicionar alguns comentários descritivos sobre ele. Após isso, deve-se selecionar um dos 9 tipos de projetos disponíveis.

Neste trabalho, foi selecionado a opção 'Sistemas de subdrenagem em vias', dado que este é o tema dele.

**Figura 24 - Menu do software Geosoft v4**

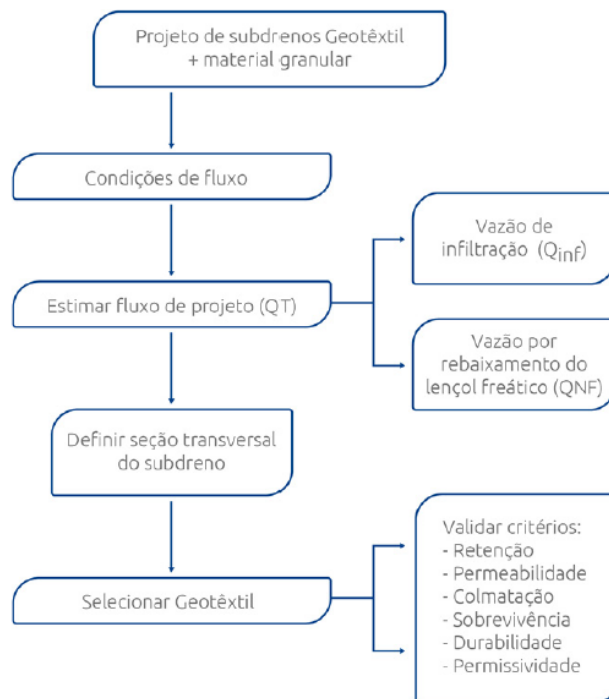
Fonte: Autor

### 3. METODOLOGIA DO TRABALHO

O processo de projeto de subdrenos com geotêxtil e material granular compreende quatro aspectos principais:

- a) Identificação da localização e profundidade da direção do fluxo;
- b) Estimativa da vazão crítica para o comprimento de descarga;
- c) Dimensionamento da seção transversal do subdreno;
- d) Estabelecimento de um sistema de filtração adequado.

**Figura 25 - Diagrama de fluxo de projeto de subdrenagem utilizando geotêxtil e material granular**



Fonte: WAVIN, 2021.

#### 3.1 CONDIÇÕES DE FLUXO

Com base nas características geomorfológicas e geométricas da rodovia é necessário definir os segmentos entre os pontos de escoamento, é crucial identificar a localização e a profundidade do fluxo de água. Nas estradas, o fluxo pode ocorrer longitudinalmente ou transversalmente em relação ao eixo da via. Para drenar águas subterrâneas, é recomendável considerar a concepção de um sistema de captação que garanta a rápida condução da água para o subdreno, avaliando a velocidade de escoamento.

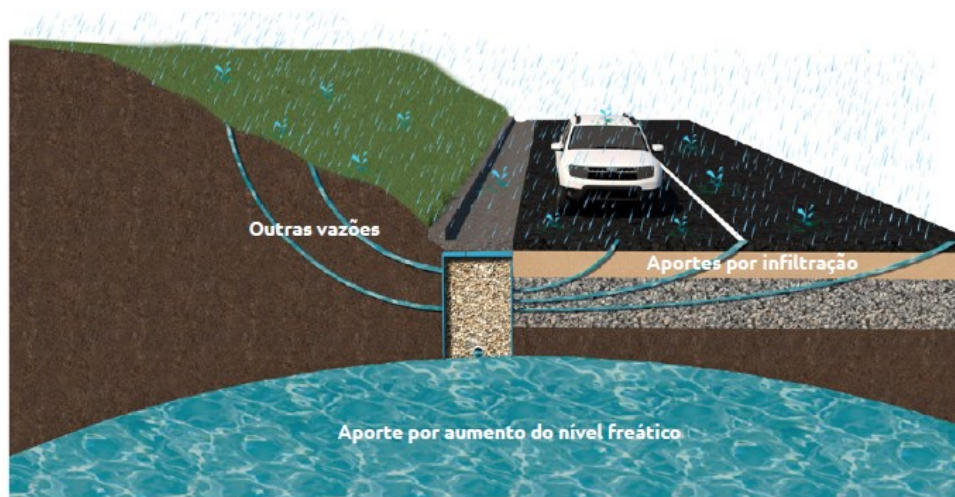
### 3.2 ESTIMATIVA DA VAZÃO DE PROJETO

Após definir os segmentos entre os pontos de descarga, é necessário identificar as fontes de contribuição de vazão ao longo desses segmentos. As contribuições de vazão que compõem a vazão total ou crítica para o projeto de um sistema de subdrenagem em uma estrutura de pavimento são as seguintes:

- A vazão resultante da infiltração da água da chuva.
- A vazão gerada pela diminuição do nível de água subterrânea.

A água de infiltração provém tanto da chuva quanto de fontes superficiais, infiltrando-se através da camada do pavimento ou do solo próximo ao trecho da estrada em questão. É crucial determinar com precisão as áreas contribuintes para o cálculo da vazão de infiltração, considerando que, frequentemente, o subdreno também pode captar água de infiltração proveniente das encostas adjacentes.

Figura 26 - Vazões a considerar num projeto



Fonte: WAVIN, 2021.

Um sistema de drenagem eficaz em estradas deve aprimorar o sistema de subdrenagem com estruturas de drenagem superficial, tais como calhas, valetas de taludes e valas de drenagem. Isso contribui para mitigar a infiltração de água no subsolo.

#### 3.2.1 VAZÃO POR INFILTRAÇÃO ( $Q_{inf}$ )

Uma porção da água da chuva que incide diretamente sobre a superfície do pavimento, seja ele rígido ou flexível, penetra na estrutura do pavimento devido à sua capacidade de permeabilidade. A determinação desse fluxo de infiltração é realizada conforme a equação:

$$Q_{inf} = IR \times B \times L \times F_i \times FR$$

Onde:

- *IR* representa a precipitação máxima horária anual registrada na área do projeto em metros por segundo (m/s).
- *B* refere-se à metade da largura da via para subdrenos longitudinais ou à distância entre subdrenos para subdrenos transversais, em metros (m).
- *L* é o comprimento do trecho de drenagem em metros (m).
- *F<sub>i</sub>* é o Fator de Infiltração.
- *FR* é o Fator de Retenção da Base, que reflete a redução da permeabilidade das bases ao longo do tempo de serviço.

A precipitação máxima horária anual, registrada na área do projeto, pode ser obtida das curvas de intensidade-duração-frequência (curva IDF) para as diversas regiões do país. Geralmente, seleciona-se um intervalo de 60 a 120 minutos e opta-se pela curva de retorno de 2 anos.

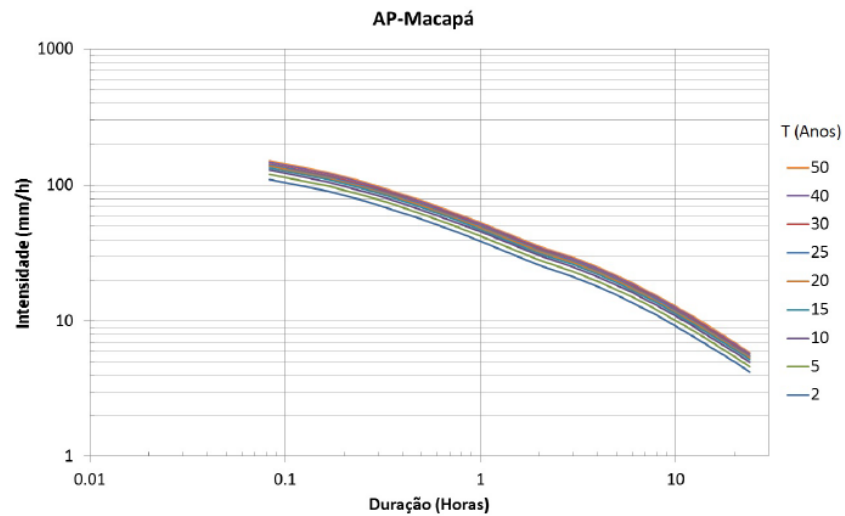
**Figura 27 - Localização do município de Macapá e sua estação pluviográfica**



Fonte: AZAMBUJA, 2017.

A estação de São Francisco, código 00052000, está situada na latitude 0°34'15.96"S e longitude 52°34'30.00"O, a 180 km de Macapá, no município de Laranjal do Jari. A Figura a seguir mostra a localização do município e da estação.

**Figura 28 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência de Macapá**



Fonte: AZAMBUJA, 2017.

**Tabela 9 - Intensidade da chuva em Macapá-AP, em mm/h**

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, $T$ (anos)							
	2	5	10	15	20	25	40	50
5 Minutos	111,0	121,5	130,2	135,5	139,4	142,5	149,3	152,6
10 Minutos	90,7	99,3	106,3	110,6	113,8	116,4	121,9	124,6
15 Minutos	77,7	85,1	91,1	94,8	97,6	99,7	104,5	106,8
30 Minutos	56,5	61,9	66,3	69,0	71,0	72,6	76,0	77,7
45 Minutos	45,7	50,1	53,6	55,8	57,4	58,7	61,5	62,9
1 HORA	39,0	42,7	45,7	47,6	49,0	50,1	52,4	53,6
2 HORAS	26,0	28,5	30,5	31,7	32,6	33,4	34,9	35,7
3 HORAS	21,2	23,3	25,1	26,1	26,9	27,6	28,9	29,6
4 HORAS	18,0	19,8	21,2	22,2	22,8	23,4	24,5	25,1
8 HORAS	11,1	12,2	13,1	13,6	14,1	14,4	15,1	15,5
14 HORAS	6,9	7,6	8,2	8,5	8,8	9,0	9,5	9,7
20 HORAS	5,0	5,5	5,9	6,2	6,3	6,5	6,8	7,0
24 HORAS	4,2	4,6	5,0	5,2	5,3	5,5	5,7	5,9

Fonte: AZAMBUJA, 2017.

**Tabela 10 - Valores recomendados para FR**

Tipo de camada	F <sub>R</sub>
Bases bem graduadas, em funcionamento 5 anos ou mais	1/4
Bases bem graduadas, em funcionamento por menos de 5 anos	1/3
Bases de graduação aberta, em funcionamento 5 anos ou mais	1/3
Bases de graduação aberta, em funcionamento por menos de 5 anos	1/2

Fonte: WAVIN, 2021.

**Tabela 11 - Valores recomendados para Fi**

Tipo de camada	F <sub>i</sub>
Revestimentos asfálticos muito bem conservados	0.30
Revestimentos asfálticos normalmente conservados	0.40
Revestimento asfálticos pobremente conservados	0.50
Revestimento de concreto de cimento Portland	0.67

Fonte: WAVIN, 2021.

### 3.2.2 VAZÃO POR REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Em locais onde o lençol freático ou a água proveniente da pressão subterrânea atinge um nível superior ao do subleito, afetando a estrutura do pavimento, é necessário reduzir esse nível para evitar problemas causados pelo excesso de água. O cálculo dessa vazão se baseia nos seguintes parâmetros:

$$QNF = k \cdot i \cdot Aa$$

Onde:

$$i = \frac{Nd - Nf}{B}$$

$$Aa = (Nd - Nf) \cdot L$$

Sendo:

*k*: Coeficiente de permeabilidade do solo adjacente (m/s).

*i*: Gradiente hidráulico.

*Nd*: Cota inferior do subdreno (m).

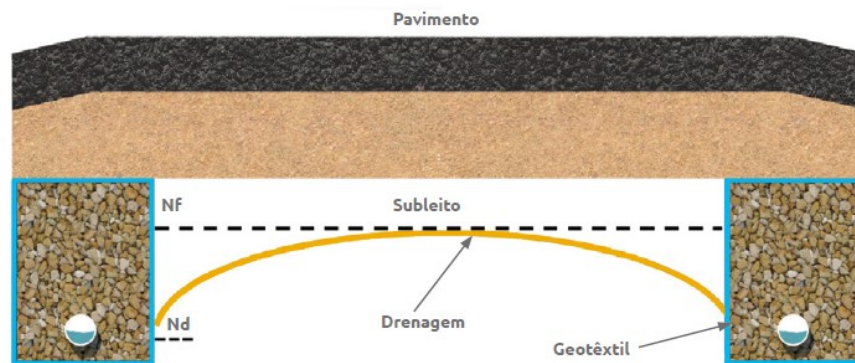
$N_f$ : Cota superior do nível freático (m).

$A_a$ : Área efetiva para o rebaixamento do nível freático ( $m^2$ ).

$B$ : Para subdrenos longitudinais, é a metade da largura da via. Para subdrenos transversais, é a distância entre os subdrenos (m).

$L$ : Comprimento do tramo de drenagem (m).

**Figura 29 - Sistema de subdrenagem lateral em uma estrada**



Fonte: WAVIN, 2021.

Uma vez que as vazões de abastecimento para o sistema tenham sido estimadas, a vazão de projeto é obtida pela fórmula:

$$QT = Q_{inf} + Q_{NF}$$

Lembrando que o fluxo por rebaixamento do nível freático deve ser duplicado quando estiver presente nos dois lados da seção transversal.

A linha superior da vazão ou nível freático não deve superar, em nenhum momento, a cota do subleito. Com esse critério, deve-se estabelecer a profundidade do subdreno ( $N_d$ ).

A vazão proveniente do escoamento superficial pode ser controlada com métodos de captação, como calhas, valetas e bueiros, para limitar o aporte de água na estrutura do pavimento. Em trechos onde se considera que haverá aporte por escoamento superficial, o fluxo deve ser estimado utilizando métodos hidrológicos.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Partindo da expressão que define o fluxo total (QT), determina-se a área da seção transversal exigida para que o subdreno seja capaz de conduzir a vazão crítica com uma velocidade de evacuação adequada:

$$QT = V \cdot i \cdot A$$

Onde:

*QT*: Vazão total ( $m^3/s$ ).

*V*: Velocidade de fluxo, que depende da inclinação longitudinal e do tamanho do agregado utilizado no subdreno ( $m/s$ ).

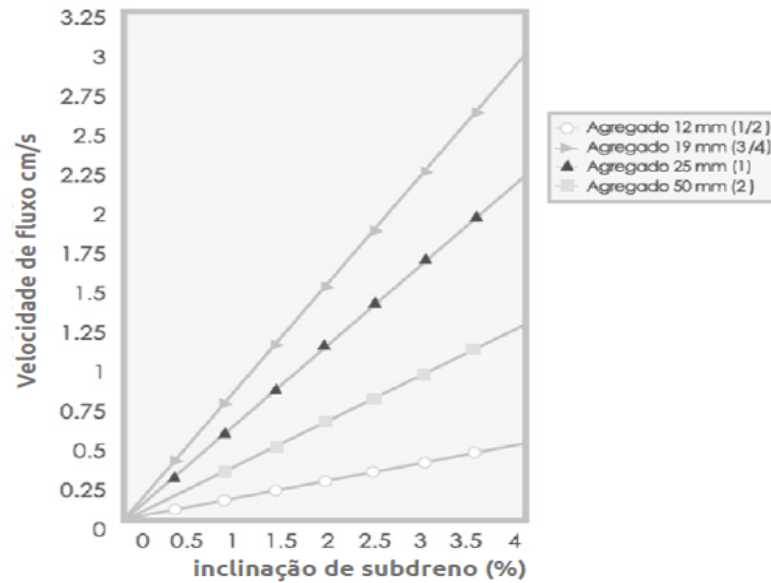
*i*: Gradiente hidráulico, que no caso dos subdrenos é igual a 1.

*A*: Área da seção transversal do subdreno ( $m^2$ ).

A profundidade do subdreno deve ser estimada de acordo com a posição do nível freático e a estrutura do pavimento a ser protegida. Recomenda-se assumir uma profundidade mínima (*H*) igual à profundidade máxima das camadas granulares. Calculada a altura, deve-se garantir que ela atenda a uma largura viável para construção com o equipamento disponível. A largura mínima de uma pá típica de retroescavadeira é de 60 cm; portanto, esse deve ser o valor mínimo considerado.

Conhecida a inclinação do subdreno e o tamanho do agregado disponível para uso como material do sistema de drenagem, a velocidade de fluxo do sistema pode ser determinada a partir da imagem a seguir. Com a velocidade e o fluxo de projeto estabelecidos, a equação da vazão total determina a área da seção transversal necessária para o subdreno.

**Tabela 12 - Velocidade de fluxo x Inclinação de subdreno**



Fonte: WAVIN, 2021.

Obtida a seção transversal do subdreno, determina-se o comprimento de desenvolvimento do geotêxtil correspondente ao perímetro mais a sobreposição. Os comprimentos de sobreposição recomendados variam entre 0,25 m e 0,35 m.

Para aumentar a eficiência dos subdrenos, é recomendável utilizar tubulação de drenagem dentro deles, permitindo a passagem de uma vazão maior na mesma seção transversal. O diâmetro da tubulação de drenagem pode ser estimado utilizando a equação de Manning. Assume-se um diâmetro de tubulação  $e$ , em seguida, verifica-se se ele atende a seguinte igualdade:

$$QT = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Onde:

$QT$ : Vazão total calculada ( $m^3/s$ ).

$n$ : Coeficiente de Manning. Para tubulação perfurada, normalmente é 0,013.

$A$ : Área do tubo ( $m^2$ ).

$R$ : Relação entre a área total e o perímetro total ( $A_t/P_t$ ) com o tubo cheio ( $m$ ).

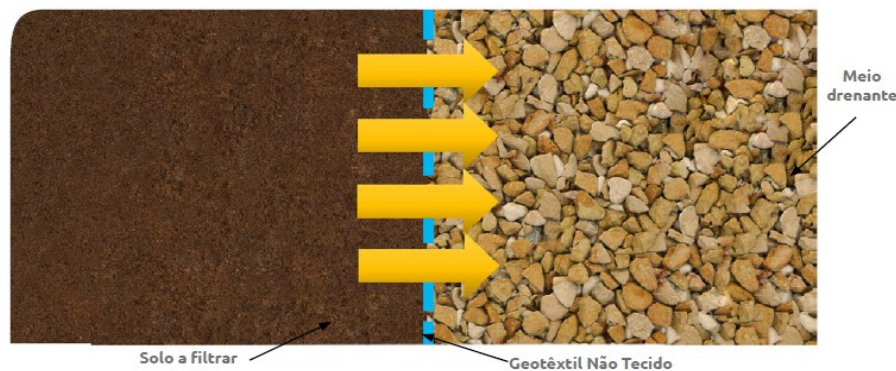
$S$ : Inclinação do subdreno ( $m/m$ ).

### 3.4 SELEÇÃO DO GEOTÊXTIL

Ao estabelecer um sistema de filtração adequado, garante-se uma maior vida útil tanto do sistema quanto da estrutura do pavimento. O filtro evita a migração excessiva de partículas de solo, permitindo ao mesmo tempo a passagem de água. Isso significa que o geotêxtil deve ter uma abertura aparente máxima que retenha o solo, enquanto mantém um valor mínimo admissível de permeabilidade para permitir o fluxo de água de maneira eficiente.

A seleção do geotêxtil deve considerar também a avaliação dos critérios de sobrevivência, durabilidade e resistência à colmatção. Por fim, o geotêxtil escolhido como filtro deve atender às características hidráulicas e mecânicas que resultam da revisão dos critérios de projeto apresentados a seguir:

**Figura 30 - Passagem de água através do sistema de filtração**



Fonte: WAVIN, 2021.

#### 3.4.1 Critério de retenção (TAA)

Este critério garante que as aberturas do geotêxtil sejam suficientemente pequenas para impedir a migração do solo para o meio drenante ou na direção do fluxo.

Baseado nos critérios de retenção de Christopher e Holtz (1989), Carroll (1983), um geotêxtil deve atender às seguintes condições:

$$TAA < D85 \times B$$

Onde:

$TAA$  = Tamanho de abertura aparente (mm)

*D85 = Tamanho das partículas (em milímetros) que corresponde a 85% do solo que passa pela peneira, obtido da curva granulométrica do solo em consideração.*

*B = Coeficiente que varia entre 1 e 3, dependendo do tipo de solo a ser filtrado, das condições de fluxo e do tipo de geotêxtil.*

O tamanho de abertura aparente (TAA) do geotêxtil é fornecido pelo fabricante e corresponde à abertura dos espaços livres, medidos em milímetros. O TAA é determinado peneirando esferas de vidro de diâmetros conhecidos. Quando 5% de um determinado tamanho de esferas passam pelo geotêxtil, o TAA é definido conforme os ensaios estabelecidos pela norma ASTM D4751.

De acordo com Christopher e Holtz (1985), para solos coesivos com um índice de plasticidade superior a 7, o valor do TAA deve ser inferior a 0,30 mm.

Por sua parte, o coeficiente B é determinado com base nas seguintes considerações:

Para areias, areias com brita, areias siltsosas e areias argilosas (com menos de 50% passando na peneira #200), o valor de B é uma função do coeficiente de uniformidade Cu, onde  $Cu = D60/D10$ , conforme descrito a seguir:

- Quando  $Cu \leq 2$  ou  $Cu \geq 8$ , temos  $B = 1$ .
- Quando  $2 < Cu \leq 4$ , temos  $B = 0,5 \times Cu$ .
- Quando  $4 < Cu \leq 8$ , temos  $B = 8/Cu$ .

Para solos arenosos mal graduados, deve-se usar B entre 1,5 e 2.

Para solos finos (mais de 50% passando por uma peneira #200), B é uma função do tipo de geotêxtil utilizado:

- Para tecidos:  $B = 1$ , quando  $TAA \leq D85$ .
- Para não tecidos:  $B = 1,8$ , quando  $TAA \leq 1,8 \times D85$ .

Lembrando que D10, D30 e D60 são os diâmetros das partículas, em milímetros, que passam pelas peneiras n° 10, n° 30 e n° 60, respectivamente, em termos percentuais na curva granulométrica do material selecionado.

### 3.4.2 Critério de Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade hidráulica pela qual o geotêxtil permite a passagem adequada do fluxo perpendicular ao seu plano. Para avaliar a permeabilidade do geotêxtil, deve-se considerar o seguinte:

Para condições de fluxo estáveis ou fluxo laminar e solos não dispersivos, com porcentagens de finos não superiores a 50%, de acordo com o critério de Christopher e Holtz (1985) :

$$k_g > k_s$$

Onde:

$k_g$  = Permeabilidade do geotêxtil

$k_s$  = Permeabilidade do solo

Para condições de fluxo crítico, com gradientes hidráulicos elevados e visando um desempenho de longo prazo com redução do risco de colmatção, recomenda-se utilizar o critério de Christopher e Holtz (1985):

$$k_g > 10 \times k_s$$

Nessas condições, além do geotêxtil, recomenda-se a colocação de uma camada de areia média a grossa.

### 3.4.3 Critério de Colmatção

A colmatção ocorre quando partículas finas do solo penetram no geotêxtil, bloqueando seus poros, ou quando se depositam no lado a montante do geotêxtil, reduzindo significativamente sua permeabilidade. Para evitar essa situação, é necessário que o geotêxtil mantenha uma porcentagem mínima de espaços vazios.

Os geotêxteis não tecidos puncionados por agulhas têm maior resistência à colmatção, devido à sua espessura e alta porosidade, que minimizam o risco de tamponamento dos poros. Por outro lado, os geotêxteis não tecidos unidos por temperatura ou calandrados são mais finos e rígidos, comportando-se de maneira semelhante aos geotêxteis tecidos (WAVIN,2021).

Os geotêxteis tecidos, devido à sua baixa porosidade, apresentam um risco elevado de

colmatação e uma consequente perda súbita de permeabilidade, o que os torna inadequados como filtros em sistemas de drenagem. De acordo com Christopher e Holtz (1985), os geotêxteis usados para filtração devem ter porosidade superior a 50%, razão pela qual os geotêxteis tecidos não são recomendados em sistemas de subdrenagem.

Em aplicações críticas ou projetos envolvendo solos muito finos, recomenda-se realizar ensaios de colmatação com os solos do local da obra, conforme a metodologia de teste descrita na norma ASTM D 5101 (2017).

Para avaliar os critérios de colmatação, a porosidade é o parâmetro fundamental, já que ela determina a quantidade de partículas de solo retidas no geotêxtil, permitindo a manutenção do fluxo de água. Portanto, recomenda-se que os geotêxteis utilizados como filtros tenham uma porosidade maior que 50%, garantindo que, mesmo com colmatação parcial, haja porosidade suficiente para permitir a passagem do fluxo no sistema.

#### 3.4.4 Critério de Sobrevivência

Durante a instalação e ao longo de sua vida útil, o geotêxtil pode ser submetido a esforços que devem ser suportados de modo a não comprometer significativamente suas propriedades hidráulicas e físicas. Conforme S.M. Leuttich, J.P. Giroud, R.C. Bachus (1992), esses esforços podem afetar drasticamente essas propriedades.

Portanto, é crucial que o geotêxtil possua valores mínimos de resistência mecânica, capazes de suportar os esforços induzidos durante a instalação e manipulação, garantindo assim a manutenção de suas características funcionais.

Segue abaixo a tabela dos valores mínimos de resistência exigidos para os geotêxteis, de acordo com o critério de sobrevivência:

**Tabela 13 - Norma internacional de critérios de resistência**

Propriedade	Resistência à tração (GRAB)	Resistência à costura	Resistência à penetração com pistão de 50 mm de diâmetro	Resistência ao rasgo trapezoidal
Norma de ensaio	ASTM D4632	ASTM D4632	ASTM D6241	ASTM D4533
Valor mínimo médio por rolo	700 N	630 N	1,375 N	250 N

Fonte: WAVIN, 2021.

#### 3.4.5 Critério de Durabilidade

A durabilidade de um Geotêxtil é determinada pela sua capacidade de resistir ao longo do tempo diante de ataques químicos, biológicos e intempéries ambientais. Para enfrentar tais

desafios, os Geotêxteis são produzidos utilizando polipropileno, conferindo-lhes não apenas resistência à degradação biológica, mas também uma alta resistência contra ataques químicos, mesmo em situações que envolvam o manejo de lixiviados.

### 3.4.6 Critério de Permissividade

Ao empregar Geotêxteis como meios filtrantes para grandes vazões, é necessário avaliar a quantidade de fluxo volumétrico que pode atravessar por unidade de área (taxa de fluxo) perpendicularmente ao plano do Geotêxtil, em relação à quantidade de fluxo volumétrico a ser evacuada por metro linear.

Para determinar a permissividade exigida do Geotêxtil, considerando a vazão requerida pelo filtro ou calculada por metro linear do subdreno, utilizamos a equação de Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Onde:

$Q =$  Vazão ( $m^3/s$ ).

$k =$  Permeabilidade ( $m/s$ ).

$i =$  Gradiente hidráulico, definido como  $\Delta h/t$ .

$A =$  Área da seção transversal ( $m^2$ ), equivalente a  $H \times b$ .

Além disso, podemos expressar a permissividade  $\psi$  como:

$$\psi = \frac{k}{t}$$

Onde:

$\psi =$  Permissividade ( $s^{-1}$ ).

$t =$  Espessura do Geotêxtil ( $m$ ).

Combinando as equações, obtemos a permissividade exigida para o Geotêxtil,  $\psi_{req}$  conforme a expressão:

$$\psi_{req} = \frac{q_w}{\Delta h \times H}$$

Onde:

$\psi_{req}$  = Permissividade exigida do Geotêxtil, k/t.

$q_w$  = Vazão por unidade de comprimento, Q/L, sendo Q a vazão total a ser evacuada e L o comprimento do tramo de drenagem em consideração.

$\Delta h$  = Carga hidráulica, equivalente à altura da subdrenagem.

H = Altura do subdreno.

A permissividade admissível do Geotêxtil, é determinada com base nas informações fornecidas pelo fabricante (conforme Norma ASTM D4491) e é influenciada por fatores de redução específicos para o tipo de projeto.

$$\psi_{adm} = \frac{\psi_{ult}}{(FRSCB \times FRCCR \times FRIN \times FRCC \times FRBC)}$$

Onde:

$\psi_{adm}$  = Permissividade admissível.

$\psi_{ult}$  = Permissividade final (fornecida pelo fabricante).

FRSCB = Fator de redução por colmatação e vedação.

FRCCR = Fator de redução por creep ou fluência.

FRIN = Fator de redução por intrusão.

FRCC = Fator de redução por colmatação química.

FRBC = Fator de redução por colmatação biológica.

O fator de segurança global é calculado de acordo com a equação a seguir e é verificado para garantir que seja superior a 1.0.

$$FS_g = \frac{\text{Permissividade admissível}}{\text{Permissividade exigida}}; FS_g > 1.0$$

### **3.5 GEOCOMPOSTOS DRENANTES**

O uso de geocompostos de drenagem é uma excelente alternativa para o manejo da água, pois permite captar e conduzir fluidos de maneira rápida e eficiente, reduzindo significativamente o tempo de construção dos subdrenos devido à sua facilidade de instalação. Isso resulta em uma diminuição de custos em comparação com alternativas convencionais, substituindo a exploração e o transporte de materiais pétreos não renováveis e reduzindo o impacto ambiental significativo que esses processos geram.

Portanto, os geocompostos de drenagem representam uma solução inovadora de engenharia para obras de infraestrutura e construção civil. Eles proporcionam grandes benefícios, como aumento da eficiência na construção, redução do uso de materiais pétreos não renováveis e menores custos de execução nas obras de subdrenagem.

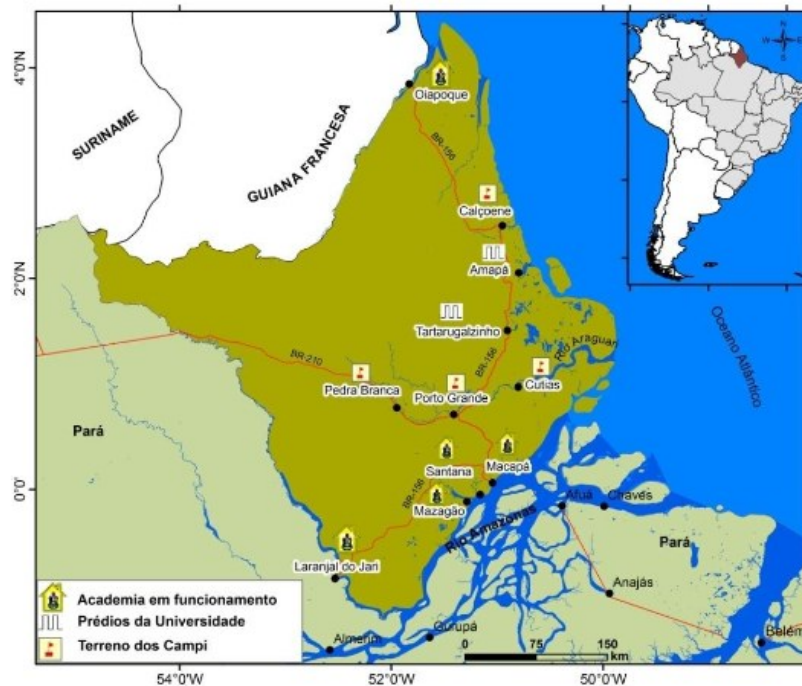
### **3.6 DADOS DE PROJETO**

#### **3.6.1 Caracterização da área de estudo**

A Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), criada por meio do Decreto nº 98.977, de 2 de março de 1990, publicado no Diário Oficial da União nº 43, de 5 de março de 1990, conforme a Lei nº 7.530, de 29 de agosto de 1986, que autoriza o Poder Executivo a instituí-la, é uma entidade pública destinada à promoção do ensino, pesquisa e extensão, dotada de autonomia didático-científica, administrativa e de gestão financeira e patrimonial, em consonância com a legislação vigente. Como instituição de direito e de fato, o primeiro vestibular ocorreu em 1991 para os cursos de Direito, Secretariado Executivo, Geografia, História, Matemática, Letras, Educação Artística e Enfermagem. Somente a partir de 2002, a instituição passou a eleger seu Reitor por meio de processo de consulta prévia para a formação de lista tríplice (UNIFAP, 2019). Em 2014 foi criado o curso de Engenharia Civil, o primeiro do estado do Amapá.

A Universidade Federal do Amapá é a maior instituição do Estado do Amapá em termos de formação superior, pesquisa e extensão, destacando-se pelo número de recursos humanos (docentes e técnicos), quantidade de alunos e sua ampla estrutura física, que inclui laboratórios, salas de aula, biblioteca, entre outros.

**Figura 31 - Indicação geográfica dos campi, terrenos e prédios da UNIFAP no estado**



Fonte: UNIFAP, 2019

A UNIFAP dispõe de quatro campi em funcionamento: o Campus Marco Zero do Equador, no município de Macapá; o Campus Oiapoque, em Oiapoque; o Campus Mazagão, no município de Mazagão; e o Campus Santana, no município de Santana. Além desses, existe o Campus Laranjal do Jari, no sul do estado, que ainda não possui atividades pedagógicas. A universidade atende cerca de 11.013 discentes distribuídos nos cursos de graduação, pós-graduação, educação a distância e no Programa Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (Parfor) (UNIFAP,2019).

**Figura 32 - UNIFAP, Campus Marco Zero**



Fonte: Autor

Na imagem de número 32, a área da universidade está delimitada pela linha azul. Este espaço possui uma área de 822.289,732 m<sup>2</sup>, sendo cercado pela Rodovia Josmar Chaves Pinto, Rua Amadeu Gama, Av. Inspetor Aimoré e Av. Ivaldo Alves Veras. Para delimitar a área de estudo, foi criado uma marcação de polígono que define os limites dela utilizando o Google Earth.

**Figura 33 - Rua principal da UNIFAP, em amarelo**



Fonte: Autor

**Figura 34 - Rua 1 da UNIFAP, em roxo**



Fonte: Autor

A Universidade tem duas ruas, a rua principal, que atravessa o campus, e a rua 1, que vai do DERCA até o Hospital universitário. Para o projeto deste presente trabalho será considerado uma via reta simples hipotética e baseada na rua 1 da UNIFAP, conforme a imagem abaixo.

**Figura 35 - Medição da Rua 1 da UNIFAP no Google Earth**



Fonte: Autor

Com o auxílio do Google Earth, foi possível medir o comprimento da via, que tem cerca de 450 metros de comprimento.

**Figura 36 - Medição da largura da Rua 1 da UNIFAP**



Fonte: Autor

Também foi possível medir duas vezes a largura da via, uma com o Google Earth e outra utilizando o GPS móvel do smartphone, ambas chegando ao mesmo valor de cerca de oito metros de largura, estes serão os valores considerados para o cálculo de projeto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PROJETO DRENO FRANCÊS

Como descrito anteriormente, deseja-se projetar os subdrenos longitudinais na rua 1, que é uma via com 8m de largura e o tramo selecionado tem 450m, considerando uma inclinação longitudinal de 1%, com o material de subleito sendo um silte areno-argiloso, tendo sua permeabilidade  $K$  e seu  $D_{85}$

O projeto dos subdrenos laterais se concentra em dois aspectos principais: a definição da seção transversal do subdreno e as propriedades mecânicas e hidráulicas que o geotêxtil utilizado como filtro deve possuir.

O primeiro passo é a determinação da vazão total de projeto, para isso, começaremos calculando a vazão por infiltração  $Q_{inf}$ , dada pela seguinte fórmula:

$$Q_{inf} = IR \times B \times L \times F_i \times FR$$

Onde:

1.  $IR$  representa a precipitação máxima horária anual registrada na área do projeto (em metros por segundo (m/s)). 39mm/h em Macapá, ou  $1,083 \times 10^{-5}$  metros por segundo;
2.  $B$  refere-se à metade da largura da via para subdrenos longitudinais ou à distância entre subdrenos para subdrenos transversais, em metros (m). Sendo a largura da via 8m,  $B$  então é 4m;
3.  $L$  é o comprimento do trecho de drenagem em metros (m). Neste trabalho, é o equivalente à 450m
4.  $F_i$  é o Fator de Infiltração. Neste projeto será considerado 0,4 já que se trata de um revestimento asfáltico normalmente conservado;
5.  $FR$  é o Fator de Retenção da Base, que reflete a redução da permeabilidade das bases ao longo do tempo de serviço. Neste projeto será considerado 0,25 pois se trata de bases bem graduadas em serviço à 5 anos ou mais.

Substituindo os termos, temos:

$$Q_{inf} = 1,083 \times 10^{-5} \times 4 \times 450 \times 0,4 \times 0,25 = 0,0019494 \text{ m}^3/\text{s}$$

Logo, a vazão por infiltração a ser considerada é de aproximadamente 1,95 l/s

O segundo passo é determinar a Vazão por rebaixamento do lençol freático, porém como é evidenciado no trabalho de COROA (2022) “Não foram realizados mapas de nível de lençol freático pela falta de dados desta variável nos laudos de sondagem” na área de estudo em questão (UNIFAP- Campus Zerão). Logo não será estimada a contribuição por rebaixamento do lençol freático.

A Vazão total de projeto será então:

$$QT = Qinf + QNF$$

Dado que QNF é nulo, pelo motivo citado acima, temos

$$QT = Qinf$$

Logo,  $QT = 1,95 \text{ l/s}$  ou  $0,00195 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Sabendo disso, o próximo passo é a determinação da seção transversal do subdreno. Utilizando-se o ábaco da figura presente no tópico 3.3, para a inclinação de 1% e material drenante uma brita com tamanho uniforme de meia polegada temos  $0,75 \text{ cm/s}$ , com isso, achamos a velocidade  $V$ .

$$V = 0,75 \text{ cm/s}$$

Sabendo a velocidade, utilizaremos a equação de Darcy

$$QT = V \cdot i \cdot A$$

Onde:

- $QT = 0,00195 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- $V = 0,0075 \text{ m/s}$
- $i = 1,0$

Com isso, calcula-se a área  $A$

$$Qt = V \cdot i \cdot A$$

$$0,00195 = 0,0075 \times 1 \times A$$

$$0,00195 \div 0,0075 = A$$

$$A = 0,26m^2$$

Para cumprir com a área exigida, a seção utilizada terá uma altura H de 60cm e uma largura B de 45cm.

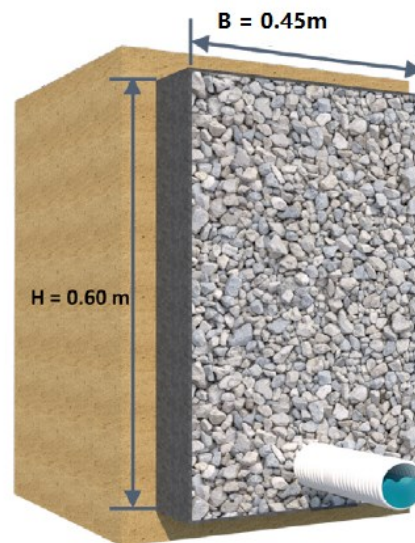
$$A = B \times H$$

$$A = 0,45 \times 0,6$$

$$A = 0,27 m^2$$

Como  $0,27m^2 > 0,26m^2$ , então a seção calculada cumpre com a área exigida

**Figura 37 - Dimensões escolhidas para o Dreno Francês**



Fonte: Autor

Para o critério de retenção (TAA) temos o critério recomendado pelo manual, que é  $TAA < 0,3mm$ . Utilizaremos este pois não há como conseguir os dados do D85 do solo local, dada a impossibilidade de se fazer o teste da peneira.

Para o critério de permeabilidade temos que checar os valores tabelados, utilizando das informações presentes em outros trabalhos, como o de Amaral (2022) e Coroa (2022).

Já que se trata de um solo do tipo silte argilo arenoso (AMARAL, 2022), deve-se cumprir o seguinte critério:

$$K_g > 10.K_s$$

**Tabela 14 - Tabela de permeabilidade**

Permeabilidade		Tipo de solo	k (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
	Alta	Areias	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
	Baixa	Siltes e argilas	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	$10^{-7}$ a $10^{-9}$
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

$$K_g > 10 \times 1 \times 10^{-7}$$

$$K_g > 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para o critério de colmatção, sabemos que a porosidade dos Geotêxteis Não Tecidos puncionados por agulhas é maior que 80% (WAVIN,2021), atendendo, assim, a esse critério.

**Tabela 15 - Norma internacional do critério de sobrevivência, em inglês**

Fabric Property	Test Method	Units	Minimum Average Roll Value
Grab Tensile	ASTM D 4632	lbs.	160(.712kN)
Grab Elongation	ASTM D 4632	lbs.	50
Trap-Tear Strength	ASTM D 4533	lbs.	60(.267 kN)
CBR Puncture Strength	ASTM D 6241	lbs.	410(1.82 kN)
Mullen Burst	ASTM D 3786	psi	315
Puncture	ASTM D 4833	lbs.	90(.4 kN)
Permittivity	ASTM D 4491	sec <sup>-1</sup>	1.5
Water Flow	ASTM D 4491	gpm/ft <sup>2</sup>	110(4480 l/min/sm)
UV Resistance	ASTM D 4355	%	70
AOS	ASTM D 4751	US Sieve	#70(.212 mm)

Ao observarmos a tabela de especificação técnica da Bidim Wavin, percebemos que o os seguintes geotêxteis reprovam no critério de sobrevivência ‘Resistência a tração grab’: RT-7, RT-8, RT-9, RT-10.

Quanto a resistência à tração grab, temos:

**Tabela 16 - Linha BIDIM RT e resistência à tração grab**

GEOTÊXTIL	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO GRAB	VALOR MÍNIMO DA NORMA  (ASTM D 4632)	RESULTADO DA COMPARAÇÃO
RT-7	435 N	712 N	REPROVADO
RT-8	520 N	712 N	REPROVADO
RT-9	600 N	712 N	REPROVADO
RT-10	665 N	712 N	REPROVADO
RT-14	870 N	712 N	APROVADO
RT-16	1010 N	712 N	APROVADO
RT-21	1290 N	712 N	APROVADO
RT-26	1575 N	712 N	APROVADO
RT-31	1900 N	712 N	APROVADO

Fonte: Autor

Quanto a resistência ao rasgo trapezoidal, temos:

**Tabela 17 - Linha BIDIM RT e resistência ao rasgo trapezoidal**

GEOTÊXTIL	RESISTÊNCIA AO RASGO TRAPEZOIDAL	VALOR MÍNIMO DA NORMA  (ASTM D 4533)	RESULTADO DA COMPARAÇÃO
RT-7	190 N	267 N	REPROVADO
RT-8	205 N	267 N	REPROVADO
RT-9	240 N	267 N	REPROVADO
RT-10	260 N	267 N	REPROVADO
RT-14	325 N	267 N	APROVADO
RT-16	370 N	267 N	APROVADO
RT-21	460 N	267 N	APROVADO
RT-26	550 N	267 N	APROVADO
RT-31	650 N	267 N	APROVADO

Fonte: Autor

Quanto a resistência a penetração com pistão de 50mm temos:

**Tabela 18 - Linha BIDIM RT e resistência à penetração**

GEOTÊXTIL	PUNÇIONAMENTO CBR	VALOR MÍNIMO DA NORMA  (ASTM D 6241)	RESULTADO DA COMPARAÇÃO
RT-7	1,10 kN	1,82 kN	REPROVADO
RT-8	1,30 kN	1,82 kN	REPROVADO
RT-9	1,70 kN	1,82 kN	REPROVADO
RT-10	2,00 kN	1,82 kN	APROVADO
RT-14	2,50 kN	1,82 kN	APROVADO
RT-16	2,80 kN	1,82 kN	APROVADO
RT-21	3,70 kN	1,82 kN	APROVADO
RT-26	4,50 kN	1,82 kN	APROVADO
RT-31	5,50 kN	1,82 kN	APROVADO

Fonte: Autor

Vendo as tabelas, conclui-se num primeiro momento que o geotêxtil RT-14 cumpre as 3 normas internacionais, logo ele será o selecionado para os cálculos a seguir.

Para o critério de permissividade temos:

$$\psi_{req} = \frac{qw}{\Delta h \times H}$$

Onde:

$\psi_{req}$  = Permissividade exigida do Geotêxtil, k/t.

$qw$  = Vazão por unidade de comprimento, Q/L, sendo Q a vazão total a ser evacuada e L o comprimento do tramo de drenagem em consideração.

$\Delta h$  = Carga hidráulica, equivalente à altura da subdrenagem.

H = Altura do subdreno.

Logo:

$$\psi_{req} = \frac{(0,00195 \text{ m}^3/\text{s} \div 450\text{m})}{0,6 \times 0,6}$$

$$\Psi_{req} \approx 0,00001204$$

$$\Psi_{req} \approx 1,204 \times 10^{-5} s^{-1}.$$

Uma vez calculada a permissividade exigida pelo sistema, deve-se a comparar com a permissividade admissível do Geotêxtil em questão.

$$\psi_{adm} = \frac{\psi_{ult}}{(FRSCB \times FRCR \times FRIN \times FRCC \times FRBC)}$$

Onde:

$\psi_{adm}$  = Permissividade admissível.

$\psi_{ult}$  = Permissividade final (fornecida pelo fabricante). No caso do RT-14 é  $1,8 s^{-1}$ .

FRSCB = Fator de redução por colmatção e vedação, neste caso, 2,0.

FRCR = Fator de redução por creep ou fluência, neste caso, 1,5.

FRIN = Fator de redução por intrusão, neste caso, 1,2.

FRCC = Fator de redução por colmatção química, neste caso, 1,5.

FRBC = Fator de redução por colmatção biológica, neste caso, 4,0.

Os valores dos fatores de redução foram escolhidos de maneira conservadora e de acordo com a tabela presente no tópico 2.3.1

$$\psi_{adm} = \frac{1,8}{2,0 \times 1,5 \times 1,2 \times 1,5 \times 4,0}$$

$$\psi_{adm} = 8,33 \times 10^{-2} s^{-1}$$

De acordo com o que foi calculado até agora, faz-se a checagem do fator de segurança

$$FS_g = \frac{\text{Permissividade admissível}}{\text{Permissividade exigida}}; FS_g > 1.0$$

$$FS_g = \frac{\psi_{adm}}{\Psi_{req}} = \frac{0,08333333}{0,00001204} = 6921,37$$

$$6921,37 > 1,0$$

Logo o geotêxtil cumpre o fator de segurança global, então confirma-se que o geotêxtil RT-14 está apto como meio filtrante do sistema de subdrenagem projetado.

## 4.2 PROJETO UTILIZANDO O SOFTWARE GEOSOFT V4

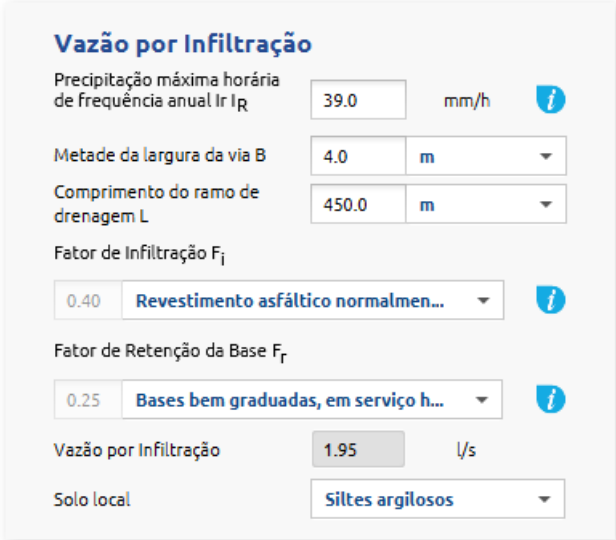
### 4.2.1 Parâmetros utilizados pelos dois projetos

Ao utilizar o Geosoft V4 para projetar um sistema de subdrenagem em via é possível calcular dois projetos simultaneamente, um para o dreno francês e outro para o geodren vial, desde que ambos tenham os mesmos parâmetros de fluxo, que é o caso desse presente trabalho.

Os parâmetros de fluxo no software ficaram assim:

Para o cálculo da vazão por infiltração, foi utilizado os mesmos valores do tópico anterior, ou seja, o projeto representa a mesma via

**Figura 38 - Dados da Vazão por Infiltração, no Geosoft v4**



Vazão por Infiltração		
Precipitação máxima horária de frequência anual $I_r I_p$	39.0	mm/h
Metade da largura da via B	4.0	m
Comprimento do ramo de drenagem L	450.0	m
Fator de Infiltração $F_i$	0.40	Revestimento asfáltico normalmen...
Fator de Retenção da Base $F_r$	0.25	Bases bem graduadas, em serviço h...
Vazão por Infiltração	1.95	l/s
Solo local	Siltes argilosos	

Fonte: Autor.

Tal como no tópico anterior, também não será estimada a a contribuição por vazão por rebaixamento do lençol freático dada a ausência de dados.

Figura 39 - Dados da Vazão por rebaixamento do lençol freático, no Geosoft v4

**Vazão por rebaixamento do lençol freático**

Estimar contribuição por rebaixamento
  Não estimar contribuição por rebaixamento

Permeabilidade do solo K: 0.0 m/s

Cota inferior do subdreno  $N_d$ : 0.0 m

Cota superior do lençol freático  $N_f$ : 0.0 m

Vazão por rebaixamento do lençol freático: [ ] l/s

Fonte: Autor.

Figura 40 - Vazão de Projeto, no Geosoft v4

**Vazão de Projeto**

$Q_{total} = 1.95 + [ ] = 1.95 \text{ l/s}$

Fonte: Autor.

Após o cálculo dos parâmetros de fluxo há a opção de seleção de projeto, onde se escolhe se o projeto será feito em filtro francês ou em geodren vial. Num primeiro momento é selecionado a opção 'filtro francês' para que se confirme que a seleção e cálculos feitos no tópico passado sejam comparados com o resultado utilizando software, ou seja, espera-se que o programa também demonstre o RT-14 como geotêxtil apto.

#### 4.2.2 Projeto selecionando a opção filtro francês

Ao selecionar a opção filtro francês, temos:

**Figura 41 - Parâmetros do filtro e Material drenante**

The image shows a software interface with two sections. The top section is titled "Parâmetros Filtro" and contains the following fields: "Referência Geotêxtil" with a dropdown menu set to "RT-14"; "Largura do Filtro" with a text input "0.45" and a unit dropdown set to "m"; "Inclinação do filtro" with a text input "1.0" and a unit dropdown set to "%"; and two checked checkboxes: "Incluir tubulação de drenagem" and "Atender a norma AASHTO M288-05". The bottom section is titled "Material drenante" and contains the field "Tamanho das partículas do agregado" with a dropdown menu set to "0.5" and the unit "polegadas".

Fonte: Autor.

Toda a linha Bidim RT está presente como possível escolha de projeto neste software, inclusive os geotêxteis que não atingem os critérios de sobrevivência da norma internacional.

**Figura 42 - Geotêxteis disponíveis no software**

The image shows a dropdown menu with the following options: "RT-14" (selected), "RT-07", "RT-08", "RT-09", "RT-10", "RT-14", "RT-16", "RT-21", "RT-26", and "RT-31".

Fonte: Autor.

Foi feita a opção, novamente, de se utilizar o critério recomendado em manual para a retenção

**Figura 43 - Opções do critério de retenção**

**Critério de Retenção**

Usar critério recomendado TAA < 0.3 mm

Definir critério próprio TAA <  mm

Por curva Granulométrica

Fonte: Autor.

É importante citar que os fatores de redução presentes nesse software não são automáticos, ou seja, se você rodar com os valores nativos corre o risco de utilizar fatores de redução errôneos para esse fim denominado, que neste trabalho é a aplicação em projetos de subdrenagem.

**Figura 44 - Fatores de redução utilizados**

**Fatores de Redução**

Geotêxtil i

FR<sub>SCB</sub>  FR<sub>IN</sub>

FR<sub>CR</sub>  FR<sub>CC</sub>

FR<sub>CB</sub>

Fonte: Autor.

Seguido dos resultados de projeto:

**Figura 45 - Dados da tubulação de drenagem**

**Tubulação de Drenagem**

Vazão que é capaz de transportar a tubulação  l/s

Diâmetro da tubulação recomendado  mm

Fonte: Autor.

Optou-se por utilizar o diâmetro da tubulação recomendado pelo software

**Figura 46 - Confirmação de que o Geotêxtil selecionado passa no critério de retenção**

**Critério de Retenção**

TAA <  mm

Observação

Fonte: Autor.

**Figura 47 - Confirmação de que o geotêxtil selecionado passa nos critérios de sobrevivência**

Critério de Sobrevivência			
Norma de Ensaio	Propriedade	Geotêxtil	Observação
Resistência a tração Grab	ASTM D 4632	RT-14	CUMPRE
Resistência a penetração com pistão de 50 mm	ADTM D 4533	RT-14	CUMPRE
Resistência ao rasgo trapezoidal	ADTM D 6241	RT-14	CUMPRE
Observação	O geotêxtil é adequado		

Fonte: Autor.

Se escolhermos um geotêxtil que não está de acordo com as normas, o software acusa o não cumprimento destas, porém não há nenhuma notificação pop-up, o que pode fazer com que um projetista mais apressado não perceba o erro.

**Figura 48 - Exemplo de Geotêxtil reprovado nos critérios de sobrevivência**

Critério de Sobrevivência			
Norma de Ensaio	Propriedade	Geotêxtil	Observação
Resistência a tração Grab	ASTM D 4632	RT-08	NÃO CUMPRE
Resistência a penetração com pistão de 50 mm	ADTM D 4533	RT-08	NÃO CUMPRE
Resistência ao rasgo trapezoidal	ADTM D 6241	RT-08	NÃO CUMPRE
Observação	O geotêxtil não é adequado		

Fonte: Autor.

Voltando ao Geotextil RT-14, temos:

**Figura 49 - Permissividade e Permeabilidade de projeto**

**Avaliação segundo a permissividade do sistema**

0,074074074

**FS<sub>g</sub>** \_\_\_\_\_ **> 3**

0,000003581

Observação: Permissividade adequada

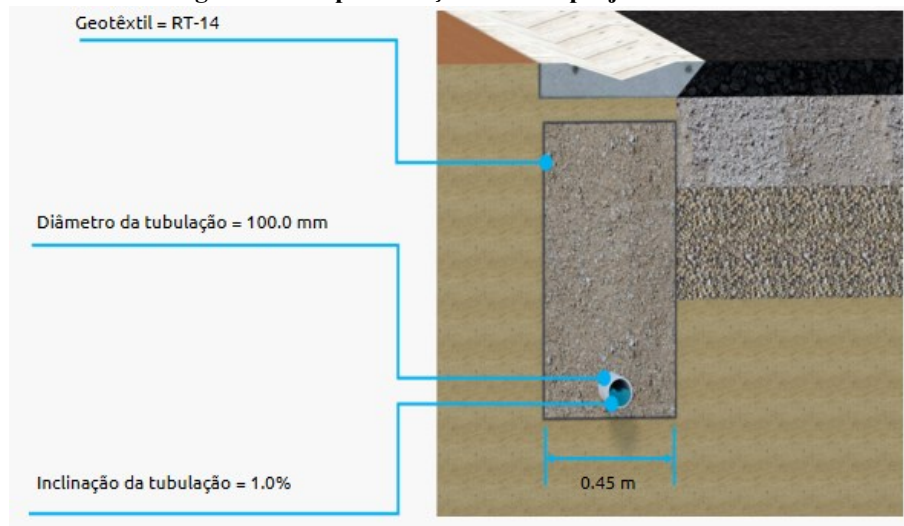
**Critério de permeabilidade  $K_g > K_s$**

Observação: Permeabilidade adequada

Fonte: Autor

No final de tudo há a opção de gerar um relatório em PDF, que está em anexo neste trabalho. Também é gerado uma representação final com as informações sobre o geotêxtil selecionado, a tubulação, a inclinação de projeto e a largura do dreno.

**Figura 50 - Representação final de projeto do Dreno francês**



Fonte: Autor.

Com isso, confirma-se via software que o RT-14 é uma escolha apta à ser meio drenante deste projeto em específico. Nisso conclui-se que o cálculo e seleção feito no tópico 4.1 está de acordo com o resultado adquirido via Geosoft v4.

### 4.2.3 Projeto utilizando o geocomposto Geodren Vial

A outra opção de projeto presente no software além do dreno francês é o uso do geocomposto drenante vial, que é o utilizado neste tópico. Para o geodren vial, temos os seguintes parâmetros de projeto:

**Figura 51 - Especificação do Geocomposto drenante vial**

Fonte: Autor.

Existem duas opções de altura para esse geocomposto em específico com a finalidade de sistemas de subdrenagem: o de 1m e o de 0,5m. Foi escolhido o de meio metro pois essa altura era a mais próxima à usada para o dreno francês no tópico passado, que tinha 0,45m.

**Figura 52 - Materiais drenantes disponíveis**

Fonte: Autor

Uma das vantagens do geodren vial em relação ao dreno francês é a possibilidade de se utilizar a areia como material drenante, que é um material bem mais barato comparado aos outros da imagem acima. Em primeiro momento, porém, foi escolhida a opção brita, que foi a mesma utilizada no tópico anterior.

**Figura 53 - Critério de retenção recomendado para Geodren Vial**

**Critério de Retenção**

Usar critério recomendado      TAA < 0.3 mm  
 Definir critério próprio      TAA <  mm  
 Por curva Granulométrica

Fonte: Autor.

Mais uma vez é utilizado o critério de retenção recomendado pelo manual.

**Figura 54 - Fatores de Redução escolhidos**

**Fatores de Redução**

Geodren Vial <span style="color: blue; font-size: small;">?</span>		Geotêxtil <span style="color: blue; font-size: small;">?</span>	
FR <sub>CR</sub>	<input type="text" value="1.8"/>	FR <sub>CC</sub>	<input type="text" value="1.1"/>
FR <sub>IN</sub>	<input type="text" value="3.0"/>	FR <sub>SCB</sub>	<input type="text" value="2.0"/>
		FR <sub>IN</sub>	<input type="text" value="1.2"/>
		FR <sub>CB</sub>	<input type="text" value="1.0"/>
		FR <sub>CR</sub>	<input type="text" value="1.5"/>
		FR <sub>CC</sub>	<input type="text" value="1.5"/>
		FR <sub>CB</sub>	<input type="text" value="4.0"/>

Fonte: Autor.

Para os fatores de redução foram utilizados aqueles mostrados no tópico 2.3.2. Como resultado, temos:

**Figura 55 - Adequação em três critérios**

**Capacidade Hidráulica Tubulação de Drenagem**

Vazão que é capaz de transportar a tubulação  l/s

Observação O diâmetro da tubulação é adequado

**Critério de Retenção**

TAA <  mm

Observação O meio filtrante do geodren é adequado

**Critério de permeabilidade  $K_g > K_s$**

Observação Permeabilidade adequada

Fonte: Autor

Com a capacidade hidráulica da tubulação e a permeabilidade adequada, o último critério que falta é a permissividade do sistema.

**Figura 56 - Avaliação segundo a permissividade do sistema**

**Avaliação segundo a permissividade do sistema**

0,347222222

**FS<sub>g</sub>** \_\_\_\_\_ **> 3**

0,000017333

Observação: Permissividade adequada

**Condução da água no plano do geodren**

0,000294321

**FS<sub>g</sub>** \_\_\_\_\_ = **67,92**

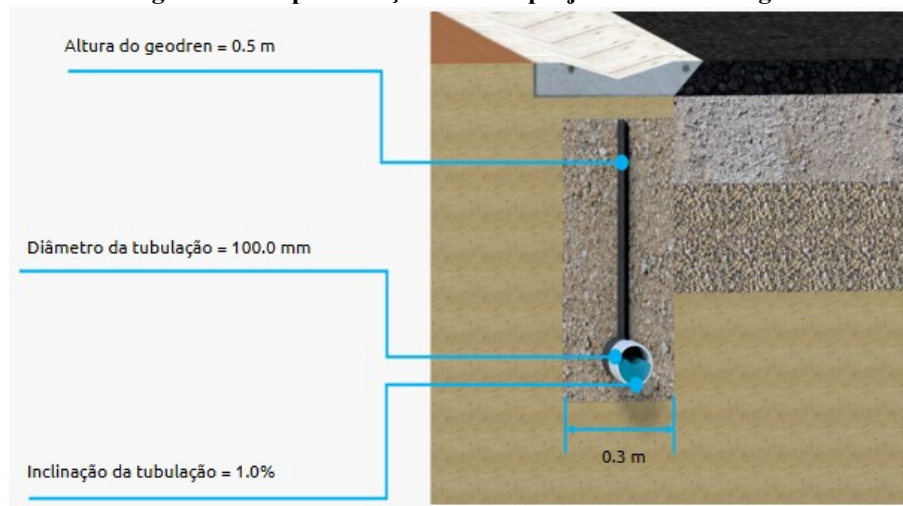
0,000004333

Observação: Geocomposto adequado

Fonte: Autor.

Confirma-se então que o geocomposto drenante plantar de 0,5m com a tubulação 100mm numa inclinação de 1% está apta como sistema drenante neste projeto específico.

**Figura 57 - Representação final do projeto utilizando o geodren vial**



Fonte: Autor

#### 4.2.4 Avaliação do Software

Um dos principais benefícios do Geosoft PAVCO v4 é sua capacidade de calcular um modelo que integra informações detalhadas sobre cada componente do projeto. Essa abordagem não só melhora a precisão do projeto, mas também facilita a detecção de conflitos entre diferentes sistemas - como estruturas e encanamento - ainda na fase de cálculo de projeto, antes da construção física, isso só é possível pois este software em específico é multifacetado para as diversas funções dos geossintéticos. Além disso, o Geosoft PAVCO v4 promove uma gestão eficiente de recursos e prazos justamente pela enorme economia de tempo comparado ao projeto feito manualmente.

No entanto, o Geosoft PAVCO v4 também apresenta desafios que precisam ser considerados. Primeiramente, sua curva de aprendizado pode ser bastante íngreme, exigindo um investimento significativo em treinamento para que os usuários novatos possam explorar todo o potencial do software.

Porém, dado que é um software disponibilizado gratuitamente, dedicar algumas horas para se familiarizar com ele é apenas um impedimento menor para pequenas empresas ou profissionais autônomos que realmente queiram trabalhar com soluções com geossintéticos.

Outro ponto de crítica refere-se à performance do software em projetos onde você modifica os fatores de segurança que são recomendados automaticamente, nesse caso em específico os valores do fator de segurança final aparentam não mudar mesmo com a alteração o que pode comprometer a eficiência e a produtividade em projetos cuja incerteza demanda FS maiores ou mais específicos. Além disso, a interoperabilidade com outros softwares é inexistente.

Em síntese, o Geosoft PAVCO na sua versão 4.0 é uma ferramenta poderosa que oferece inúmeras vantagens para o cálculo e a gestão de projetos de infraestrutura com geossintéticos. Sua capacidade de integrar e analisar dados sem que haja um consumo robusto da CPU ou memória RAM do computador representa um avanço significativo na indústria, que está lotada de softwares potentes, mas lentos e extremamente pesados. No entanto, é essencial que a BIDIM continue a investir em melhorias que tornem o software ainda mais acessível e eficiente, especialmente em termos de usabilidade e performance em tempo real. Para os estudantes, profissionais e empresas que conseguem superar as barreiras iniciais, o Geosoft oferece um retorno substancial em termos de precisão e coordenação de projetos e soluções em geossintéticos. Enfim, pode-se considerar uma experiência positiva, mas não perfeita, o que

coloca o software como não sendo ideal para engenheiros novatos na área. O manual que o acompanha, porém, é altamente detalhado e bem explicado, além de atualizado.

### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS

Um dos principais elementos na comparação de alternativas é o custo de implementação de cada uma, e especificamente na etapa de planejamento, não são elaborados projetos detalhados dos componentes de cada alternativa (VILLANUEVA, 2011), portanto, as estimativas de custos devem ser feitas a partir de definições esquemáticas das soluções.

Ao realizar a comparação de custos entre as duas alternativas para um metro linear do sistema de subdrenagem, obtêm-se os seguintes resultados:

Para o dreno francês temos:

**Tabela 19 - Custo do dreno francês por metro**

Descrição	Unidade	Quantidade	Custo	Total
Geotêxtil não tecido	m <sup>2</sup>	2,10	16,95 R\$	35,60 R\$
Tubulação drenagem 100mm	m	1	11,72 R\$	11,72 R\$
Material de preenchimento (brita N. 1)	m <sup>3</sup>	0,27	318,32 R\$	85,95 R\$
Escavação e bota fora	m <sup>3</sup>	0,27	13,75 R\$	3,55 R\$
Mão de obra	hr/m	1	20,97 R\$	20,97 R\$
Total somado				136,82 R\$

Fonte: Autor

Para o Geocomposto drenante Vial temos:

**Tabela 20 - Custo do Geodren vial por metro**

Descrição	Unidade	Quantidade	Custo	Total
Geocomposto Vial 100mm x 0,5m	m	1	58,69 R\$	58,69 R\$
Material permeável (brita N.1)	m <sup>3</sup>	0,15	318,32 R\$	47,75 R\$
Escavação e bota fora	m <sup>3</sup>	0,15	13,75 R\$	2,07 R\$
Mão de obra	hr/m	1	20,97 R\$	20,97 R\$
Total somado				129,48 R\$

Fonte: Autor

Para uma via de 450m, tamanho utilizado neste trabalho, e considerando que a drenagem será construída dos dois lados da seção transversal da via, temos os seguintes valores:

Custo do dreno francês:  $136,82 \text{ R\$} \times 450\text{m} \times 2 = 123138 \text{ R\$}$  (cento e vinte e três mil cento e trinta e oito reais)

Custo do Geocomposto drenante:  $129,48 \text{ R\$} \times 450\text{m} \times 2 = 116532 \text{ R\$}$  (cento e dezesseis mil quinhentos e trinta e dois reais)

Ao compararmos os custos temos a seguinte razão:

$$\frac{\text{Custo do Dreno Francês}}{\text{Custo do Geodren Vial}}$$

$$\frac{123138}{116532} \approx 1,0567$$

O que gera uma diferença de cerca de 5,67% nos valores, o que está consideravelmente abaixo da diferença de 26% presente no manual. Conclui-se então que o uso do geocomposto drenante vial em 2024 no Brasil (utilizando os dados do SINAPI datado de 6/2024 na cidade

de Macapá-AP) e utilizando o mesmo tipo de material de preenchimento comparado ao dreno francês é cerca de 4,58x menos vantajoso do que o calculado em 2021, em dólares, na Colômbia.

Vale lembrar que o Geodren Vial pode utilizar como material de preenchimento a areia limpa, que é consideravelmente mais barata que a brita N.1, vemos na tabela abaixo esse cenário, utilizando o material permeável areia grossa.

**Tabela 21 - Custo do geodren vial, cenário utilizando areia grossa**

Descrição	Unidade	Quantidade	Custo	Total
Geocomposto Vial 100mm x 0,5m	m	1	58,69 R\$	58,69 R\$
Material permeável (Areia Grossa)	m <sup>3</sup>	0,15	151,96 R\$	22,80 R\$
Escavação e bota fora	m <sup>3</sup>	0,15	13,75 R\$	2,07 R\$
Mão de obra	hr/m	1	20,97 R\$	20,97 R\$
Total somado				104,53 R\$

Fonte: Autor

Custo do dreno francês: 136,82 R\$ x 450m x 2 = 123138 R\$ (cento e vinte e três mil cento e trinta e oito reais)

Custo do Geocomposto drenante (com areia grossa): 104,53 R\$ x 450m x 2 = 94077R\$ (noventa e quatro mil e setenta e sete.)

$$\frac{123138}{94077} \approx 1,309$$

Neste novo cenário, a diferença entre custos é de cerca de 30,9%, o que está acima da de 26% citada no manual. Isso indica que a substituição da brita pela areia grossa torna o projeto utilizando geodren vial bem mais vantajoso e econômico que o dreno francês. Conclui-se então que, pelo diferencial do uso da areia, o geocomposto drenante vial é viável e aplicável no estado do Amapá.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado se trata do desenvolvimento de três projetos diferentes para uma mesma via hipotética de medidas idênticas à rua 1 da Universidade Federal do Amapá, sendo um feito à mão e dois feitos com a ajuda do software Geosoft v4 (versão estável disponível ao público a partir de 2021). Para isso, se fez necessário revisar conceitos de drenagem urbana bem como de geossintéticos e sua história, geotêxteis (em específico os da linha BIDIM RT) e suas funções, e também a metodologia do projeto de subdrenagem em si.

A utilização de softwares em engenharia civil, em especial na drenagem urbana, mostrou-se de uma vantagem incrível em termos de economia de tempo de projeto, especialmente utilizando o Geosoft v4, dado que os cálculos eram feitos rapidamente sem demora e atrapalhos, demonstrando assim ser um programa bem leve, embora seu layout simples e direto possa não ser tão amigável para com os iniciantes na área de projetos com geossintéticos. Esta grande simplicidade da interface gráfica porém deixa de ser uma desvantagem ao considerarmos que o manual da Wavin, também datado de 2021, explica conceitos e dados técnicos acerca dos produtos e de alguns tipos de projeto de maneira mais profunda.

As simulações de projeto demonstraram que a substituição do dreno francês pelo geocomposto drenante vial é consideravelmente eficiente e econômica, atingindo uma redução de 30,9% do custo quando comparados. No entanto, é necessário implementar as devidas adaptações de projeto, já que caso elas não ocorram, essa economia cai drasticamente pra cerca de apenas 5,67%.

Em relação à metodologia adotada neste trabalho, percebe-se que o software se demonstrou útil visando a realidade atual do estado do Amapá e pode ser utilizado em mais estudos na área de drenagem, bem como envolvendo diversos outros temas, dada a larga gama de opções existentes neste programa.

## **6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como exemplo de sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar sistemas de drenagens em edificações e campos esportivos, que é uma das várias funções disponíveis no programa Geosoft PAVCO v4. Há também a possibilidade de ir para outras áreas e problemáticas da engenharia civil, tais como a proteção de taludes e canais, reforço de fundações rasas, estabilização de subleitos, reforço a estruturas viárias, etc.

Outra sugestão interessante seria comparar resultados, de um mesmo projeto, com softwares semelhantes a este e demonstrar as vantagens específicas de cada um, e também as suas diferenças de resultado, caso existam.

## 7. REFERÊNCIAS

<https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/9-icg-brasil-evento-mundial-de-geossinteticos/2646>. Acesso em 11/05/2024

HEINEN, Juliano. **Normas de referência da agência de águas (e saneamento básico) no Brasil a partir do novo marco legal do setor (Lei nº 14.026/2020)**. Revista De Direito Administrativo, v. 281, n. 3, p. 215-247, 2022.

BRASIL, Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Dispõe sobre o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**. Publicado em: 16/07/2020 | Edição: 135 | Seção: 1 | Página: 1

BAPTISTA, Márcio Benedito et al. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3**. Belo Horizonte, 2007.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão da drenagem urbana**. 2012.

AMARAL, Nara Brasil do. **Geossintéticos Aplicados a Geotecnia Ambiental**. 2019.

BORÇATO, Allan Guimarães; HACKBARTH, Crizane; MELO, Nicolay Damaceno Aguida. **USO DE SOFTWARES NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DOS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**. Revista Extensão & Cidadania, v. 10, n. 17, p. 84-100, 2022.

LAVOIE, Fernando Luiz; DOS SANTOS BENJAMIM, Carlos Vinicius; COELHO, Marcos Fernando Leme. **Aplicação de Geocomposto Drenante em Sistema de Proteção Ambiental na Base de Pilhas de Gesso**.

SUDERHSA, DO PARANÁ, GOVERNO DO ESTADO. **MANUAL DE DRENAGEM URBANA**. 2002.

AZAMBUJA, Andressa Macedo Silva de; ALVES, Luana Kessia Lucas; PINTO, Eber José de Andrade. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência, município: Macapá, estação pluviográfica: São Francisco, código 00052000 (ANA)**. CPRM, 2017.

MENDONÇA, Eduardo Concesso. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2011.

MENDES, DEYVERSON DE SOUZA; SOUZA, JOSIMAR VIEIRA DE. **A APLICAÇÃO DO GEOTÊXTIL NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**. 2015.

PEREIRA, Antonio Carlos Oquendo. **Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHRISTOPHER, Barry R.; HOLTZ, Robert D. **Geotextile engineering manual**. 1985.

YAZAKI, LFO; MONTENEGRO, M. H. F.; COSTA, J. da. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília, DF: Adasa: Unesco, 2018.

FEDERAL, DISTRITO. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**.

DA SILVA PASSOS, Denis; DE SOUSA VENEGA, Virginia; ROCHA, Marcelo Lisboa. **Softwares para suporte no ensino de engenharia civil: um mapeamento sistemático do uso nas instituições brasileiras**. Revista Cereus, v. 9, n. 4, p. 2-18, 2017.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; JÚNIOR, Felipe Issa Kabbach. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: Conceitos e dimensionamento**. Oficina de Textos, 2013.

VERTEMATTI, José Carlos. **Geossintéticos. Manual Brasileiro de Geossintéticos** / José Carlos Vertematti (coord.). – 2. ed. – São Paulo: Blucher, 2015.

<https://www.jornaldocomercio.com/geral/2024/05/1152852-rio-grande-do-sul-sofre-com-a-maior-tragedia-climatica-da-historia.html>. Acesso em 10/05/2024.

ABNT, NBR. 6028:2021. **NBR 6028 Informação e documentação-Resumo, resenha e resenão-Apresentação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2001.

<https://www.iso.org/standard/62085.html>. Acesso em 12/06/2024.

<https://verticalgreen.com.br/tecnologias/controle-de-erosao/geocelula-webflex>. Acesso em 20/06/2024

<https://www.geomembrana.com.br/geocomposto-drenante> . Acesso em 20/06/2024

<https://loja.costalion.com.br/drenagem/membranas-geoespacadoras/membrana-geoespacadora-tema-tefond>. Acesso em 20/04/2024

<https://www.diprotecgeo.com.br/produtos/geogrelha/>. Acesso em 20/04/2024

<http://viaencosta.com.br/produtos-e-servicos/protecao-com-geomanta-pvc/>. Acesso em 20/04/2024

<https://seagro.com.br/portfolio-items/georrede-pead/>. Acesso em 20/04/2024

<https://bidimwavingeossinteticos.com/geocomposto-drenante-vial/>. Acesso em 20/04/2024

MODLER, Luís EA; FEIL, Matias S. **CARACTERÍSTICAS, POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DE UM SOFTWARE COMO FERRAMENTA DE APOIO PARA O ENSINO DAS DISCIPLINAS DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIJUÍ**. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2003.

IGS-Brasil. **Recomendação IGSBrasil 002-1: 2020: características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 1 Geotêxteis e correlatos**. 2020.

AOKI, Nelson. **Dogma do fator de segurança**. VI Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, v. 1, p. 9-42, 2008.

BOTELHO, César Alberto Aguiar; ENGENHARIA, Norsan; ARGOLLO, Natália Teixeira. **Uso De Geossintéticos Em Obras De Recursos Hídricos, Geração De Energia E Mineração.**

<https://pavcowavin.com.co/blog/geosoft-40-el-software-gratuito-de-pavco-wavin-que-permite-disenar-infraestructuras-en-menor-tiempo>. Acesso em 05/07/2024.

<https://orientantioqueno.com/turismo-en-guatape/malecon-turistico-de-guatape/>. Acesso em 05/07/2024.

<https://altomagdalena.com.co/sitios-turisticos/>. Acesso em 07/07/2024

<https://www.revistapym.com.co/articulos/comunicacion/29576/puerta-de-oro-la-entrada-del-progreso-esta-en-barranquilla>. Acesso em 07/07/2024.

UNIFAP - Universidade Federal do Amapá. **Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI 2020-2024**, disponível em <https://www2.unifap.br/pdi/files/2020/01/PDI-2020-2024-Consulta-P%C3%BAblica.pdf>. Acesso em 10/07/2024.

VILLANUEVA, Adolfo ON et al. **Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 8, n. 1, p. 5-18, 2011.

[https://www.youtube.com/watch?v=ZYiBGerb0\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=ZYiBGerb0_w). Acesso em 22/07/2024

SINAPI, CAIXA, **Relatório de Insumos e Composições - JUN/2024 - SEM DESONERAÇÃO**, Amapá. Disponível em [https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_641](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_641).

## APÊNDICE

### 1- Relatório referente ao projeto do dreno francês utilizando o Geosoft v4

Sex, 26 jul 2024 01:06:13

#### RELATÓRIO DE SUBDRENAGEM COM GEOTÊXTIL E MATERIAL GRANULAR

##### Informação do Projeto

<b>Nome do Projeto</b>	Projeto Rua 1 - TCC Caio Mendes Eng Civil
<b>Nome da Empresa</b>	Unifap
<b>Localização</b>	Macapá, AP

##### Observações

Projeto feito para uma rua hipotética semelhante à rua 1 da Universidade Federal do Amapá

##### PARÂMETROS DE ENTRADA

<b>Precipitação máxima horária de frequência anual <math>I_R</math></b>	$I_R$	39.0 mm/h
<b>Metade da largura da via</b>	B	4.0 m
<b>Comprimento do ramo de drenagem</b>	L	450.0 m
<b>Fator de Infiltração</b>	$F_i$	0.4
<b>Fator de Retenção da Base</b>	$F_r$	0.25
<b>Solo local</b>		Siltes argilosos
<b>Tipo de solo do subleito</b>		Solos finos (passa peneira #200)
<b>Permeabilidade do solo</b>	K	0.0 m/s
<b>Cota inferior do subdreno</b>	$N_d$	0.0 m
<b>Cota superior do lençol freático</b>	$N_f$	0.0 m

Sex, 26 jul 2024 01:06:14

Referência Geotêxtil	RT-14
Largura do Filtro	0.45 m
Inclinação do filtro	1.0 %
Incluir tubulação de drenagem	Sim
Atender a norma AASHTO M288-05	Sim
Tamanho das partículas do agregado	0.5 polegadas
Permeabilidade do solo K	1.0E-7 cm/s
Critério de Retenção	Usar critério recomendado
TAA <	0.3 mm
Fator de redução por colmatção do Geotêxtil	2.0
Fator de redução por creep ou fluência do Geotêxtil	1.5
Fator de redução por intrusão do Geotêxtil	1.2
Fator de redução por colmatção química do Geotêxtil	1.5
Fator de redução por colmatção biológica do Geotêxtil	4.0

Sex, 26 jul 2024 01:06:14

## PARÂMETROS CALCULADOS E RESULTADOS

## Critério de Retenção

TAA <	0.3 mm
Observação	CUMPRE

Critério de permeabilidade  $K(g) > K(s)$ 

Observação	CUMPRE
------------	--------

## Tubulação de Drenagem

Diâmetro da tubulação	100.0 mm
Vazão que é capaz de transportar a tubulação	4.35 L/s
Observação	CUMPRE

## Avaliação segundo a permissividade do sistema

Permissividade admissível [1/s]	0.07407407
Permissividade requerida [1/s]	0.00000358
Fator de Segurança global > 3.0	CUMPRE

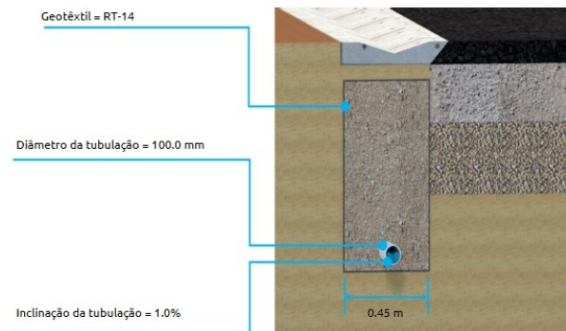
Sex, 26 jul 2024 01:06:14

## Critério de Sobrevivência

Propriedade	Norma de Ensaio	Geotêxtil	Observação
Resistência a tração Grab	ASTM D 4632	RT-14	CUMPRE
Resistência a penetração com pistão de 50 mm	ASTM D 4533	RT-14	CUMPRE
Resistência ao rasgo trapezoidal	ASTM D 6241	RT-14	CUMPRE

The logo for Wavin, featuring the word "wavin" in a lowercase, bold, sans-serif font. The letters are light blue and are enclosed within a larger, rounded rectangular border of the same color. The border has a slight 3D effect with a darker blue shadow on the right side.

Sex, 26 jul 2024 01:06:14



Para consultas e suporte técnico: [ingenieriageosinteticos@wavin.com](mailto:ingenieriageosinteticos@wavin.com)

Nota: Os valores dos geossintéticos correspondem aos valores mínimos médios por rolo (VMMR) ou (MARV) por seu nome em inglês.

### ADVERTÊNCIA

Esta ferramenta de cálculo é um complemento ao Manual de Projeto. O usuário deve conhecer as equações, sua aplicabilidade e limitações. Esta ferramenta de cálculo não deve ser usada em substituição ao engenheiro projetista.

A informação contida aqui não pode ser garantia das condições do usuário, que estão além de nosso controle. O usuário dessa ferramenta assume todos os riscos associados com seu uso.

Apesar de todos os esforços feitos para verificar seu funcionamento e resultados, GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN não se responsabiliza por qualquer erro nos cálculos obtidos com esta ferramenta. Dados assumidos ou valores de entrada errados podem dar soluções incorretas.

## 2- Relatório referente ao projeto do geodren vial utilizando o Geosoft v4

Sex, 26 jul 2024 01:05:33

## RELATÓRIO DE SUBDRENAGEM COM GEODREN VIAL

## Informação do Projeto

<b>Nome do Projeto</b>	Projeto Rua 1 - TCC Caio Mendes Eng Civil
<b>Nome da Empresa</b>	Unifap
<b>Localização</b>	Macapá, AP

## Observações

Projeto feito para uma rua hipotética semelhante à rua 1 da Universidade Federal do Amapá

## PARÂMETROS DE ENTRADA

<b>Precipitação máxima horária de frequência anual <math>I_R</math></b>	$I_R$	39.0 mm/h
<b>Metade da largura da via</b>	B	4.0 m
<b>Comprimento do ramo de drenagem</b>	L	450.0 m
<b>Fator de Infiltração</b>	$F_i$	0.4
<b>Fator de Retenção da Base</b>	$F_r$	0.25
<b>Solo local</b>		Siltos argilosos
<b>Tipo de solo do subleito</b>		Solos finos (passa peneira #200)
<b>Permeabilidade do solo</b>	K	0.0 m/s
<b>Cota inferior do subdreno</b>	$N_d$	0.0 m
<b>Cota superior do lençol freático</b>	$N_f$	0.0 m

Sex, 26 jul 2024 01:05:35

Altura	0.5 m
Diâmetro da tubulação	100.0 mm
Inclinação da tubulação	1.0 %
Material drenante	Areia limpa
Ângulo de atrito interno	27.0 grad
Peso específico	1.9 Ton/m <sup>3</sup>
Permeabilidade do solo K	1.0E-7 cm/s
Critério de Retenção	Usar critério recomendado
TAA <	0.3 mm
Fator de redução por colmatação do Geotêxtil	2.0
Fator de redução por creep ou fluência do Geotêxtil	1.5
Fator de redução por intrusão do Geotêxtil	1.2
Fator de redução por colmatação química do Geotêxtil	1.5
Fator de redução por colmatação biológica do Geotêxtil	4.0
Fator de redução por creep ou fluência do Geodren	1.8
Fator de redução por intrusão do Geodren	3.0
Fator de redução por colmatação química do Geodren	1.1
Fator de redução por colmatação biológica do Geodren	1.0

**PARÂMETROS CALCULADOS E RESULTADOS**

Critério de Retenção

<b>TAA &lt;</b>	0.3 mm
<b>Observação</b>	CUMPRE

Critério de permeabilidade  $K(g) > K(s)$

<b>Observação</b>	CUMPRE
-------------------	--------

Capacidade Hidráulica Tubulação de Drenagem

<b>Diâmetro da tubulação</b>	100.0 mm
<b>Vazão que é capaz de transportar a tubulação</b>	4.35 L/s
<b>Observação</b>	CUMPRE

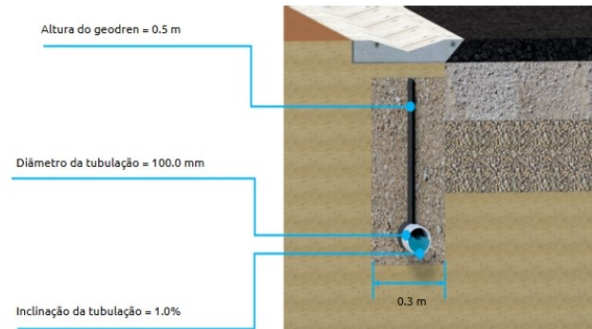
Avaliação segundo a permissividade do sistema

<b>Permissividade admissível [1/s]</b>	0.11111111
<b>Permissividade requerida [1/s]</b>	0.00001733
<b>Fator de Segurança global &gt; 3.0</b>	CUMPRE

Condução da água no plano do geodren

<b>Taxa de fluxo admissível</b>	0.00008503
<b>Taxa de fluxo requerida</b>	0.00000433
<b>Fator de Segurança global</b>	19.62
<b>Observação</b>	CUMPRE

Sex, 26 jul 2024 01:05:36



Para consultas e suporte técnico: [ingenieriageosinteticos@wavin.com](mailto:ingenieriageosinteticos@wavin.com)

#### ADVERTÊNCIA

Esta ferramenta de cálculo é um complemento ao Manual de Projeto. O usuário deve conhecer as equações, sua aplicabilidade e limitações. Esta ferramenta de cálculo não deve ser usada em substituição ao engenheiro projetista.

A informação contida aqui não pode ser garantia das condições do usuário, que estão além de nosso controle. O usuário dessa ferramenta assume todos os riscos associados com seu uso.

Apesar de todos os esforços feitos para verificar seu funcionamento e resultados, GEOSINTÉTICOS PAVCO WAVIN não se responsabiliza por qualquer erro nos cálculos obtidos com esta ferramenta. Dados assumidos ou valores de entrada errados podem dar soluções incorretas.

## ANEXO

## 1- Especificação técnica da linha BIDIM RT



## Especificação Técnica Geotêxtil Bidim

### ESPECIFICACIÓN TÉCNICA GEOTEXTIL BIDIM

Produto	Producto	Norma Estándar	RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 14	RT 16	RT 21	RT 26	RT 31		
Propriedades Mecânicas Propiedades Mecánicas	<b>Resistência à tração faixa larga</b> Resistencia a la tracción faja ancha	ABNT NBR 12824											
	<b>Valor na ruptura - L</b> Tracción a la ruptura - L	kN/m	7	8	9	10	14	16	21	26	31		
	<b>Alongamento - L</b> Elongación - L	%	60	60	60	60	60	60	60	60	65	65	
	<b>Valor na ruptura - T</b> Tracción a la ruptura - T	kN/m	6	7	8	9	12	14	19	23	27		
	<b>Alongamento - T</b> Elongación - T	%	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
	<b>Resistência à tração grab</b> Resistencia a la tracción grab	ASTM D 4632											
	<b>Tração na ruptura - L</b> Tracción a la ruptura - L	N	425	520	600	665	870	1010	1290	1575	1900		
	<b>Alongamento (min.) - L</b> Elongación	%	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
	<b>Tração na ruptura - T</b> Tracción a la ruptura - T	N	375	450	540	600	800	950	1240	1525	1860		
	<b>Alongamento (min.) - T</b> Elongación	%	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Propriedades Hidráulicas Propiedades Hidráulicas	<b>Rasgo trapezoidal</b> Rasgado trapezoidal	ABNT NBR 13351											
	<b>Valor na ruptura - L</b> Valor a la ruptura - L	N	190	215	240	260	325	370	460	550	650		
	<b>Valor na ruptura - T</b> Valor a la ruptura - T	N	170	195	220	240	300	340	425	500	600		
	<b>Punçionamento</b> Punzonado	ASTM D 4833	N	245	280	320	340	420	480	600	700	825	
	<b>Punçionamento CBR</b> Punzonado CBR	ABNT NBR 13359	kN	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7	4,5	5,5	
	<b>Permissividade</b> Permisividad	ASTM D 4491	S <sup>-1</sup>	2,5	2,4	2,1	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9	
	<b>Fluxo de água</b> Flujo de agua		l/s/m <sup>2</sup>	120	115	105	100	88	75	57	46	39	
	<b>Permeabilidade normal</b> Permeabilidad normal	ABNT NBR 15223	cm/s	0,32	0,30	0,30	0,30	0,30	0,26	0,21	0,21	0,20	
	<b>Abertura aparente</b> Apertura aparente	○95	ISO 12956/99	mm	0,122	0,120	0,117	0,115	0,109	0,105	0,100	0,096	0,095
		○90		mm	0,108	0,105	0,102	0,100	0,094	0,090	0,085	0,081	0,080
		ASTM D 4751	mm	0,200	0,200	0,200	0,190	0,180	0,170	0,160	0,140	0,130	

PROPRIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDADE	GT 07	RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 14	RT 16	RT 21	RT 26	RT 31
Comprimento	-	m	100 / 200 / 300	200	200	200	200	150	150	150	150	100
Largura	-	m	2,30	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60	2,30 - 4,60
Ponto de fusão	-	°C	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Resistência UV @500 hrs	ASTM D4355	%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>70	>70	>70	>70

**Matéria prima e tecnologia**

100% poliéster - filamentos contínuos

**Anotações:**

1. Os valores enunciados correspondem a média de ensaios feitos em diversos laboratórios.

**CONVENCIONES:**

ASTM: American Society for Testing and Materials. • N. A.: No aplica.

2- Especificação técnica do geocomposto drenante vial

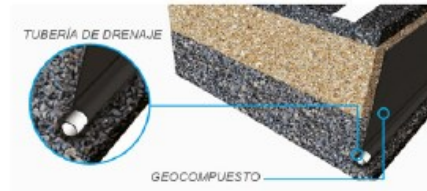
## Geodrén Vial

RED DRENANTE (HDPE)			
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
Espesor	ASTM D5199	mm	5.8
Resistencia a la compresión	ASTM D1621	kPa	700
Resistencia a la tensión	ASTM D4595	kN/m	4.8

GEOTEXTIL NO TEJIDO DE FILTRO (PP)			
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
Tamaño de apertura aparente	ASTM D4751	mm (Nº. Tamiz)	0.180 (80)
Permitividad	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	2.9
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	46 x 10 <sup>-2</sup>
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	8109

CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LA TUBERÍA CORRUGADA DE DRENAJE FÓRMULA DE PRANDTL COLEBROOK								
PENDIENTE (%)	65mm		100mm		160mm		200mm	
	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)	v (m/s)	Q (l/s)
0.5	0.28	0.84	0.38	3.05	0.46	8.29	0.53	15.25
1.0	0.40	1.19	0.55	4.33	0.65	11.74	0.75	21.57
2.0	0.57	1.68	0.77	6.12	0.92	16.61	1.07	30.52
4.0	0.80	2.38	1.09	8.67	1.29	23.50	1.51	43.17
6.0	0.98	2.91	1.34	10.62	1.59	28.78	1.85	52.88
8.0	1.13	3.36	1.55	12.26	1.83	33.24	2.13	61.07
10.0	1.27	3.76	1.73	13.71	2.05	37.16	2.38	68.28

GRADIENTE HIDRÁULICO	i=1.0
PRESIÓN	l/s-m
10 kPa	0.489
20 kPa	0.449
50 kPa	0.391



GEOCOMPUESTO		
DIMENSIONES DEL ROLLO		
DIÁMETRO (MM)	LONGITUD (M)	ALTURA (M)
65	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
100	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
160	50	0.5
	50	1.0
	50	2.0
200	35	1.0
	35	2.0

\*Cada rollo incluye una unión

