



Recomendação IGSBrasil 004

**Aplicação de Geossintéticos em
Áreas de Disposição de Resíduos**

2016

APRESENTAÇÃO

Esta recomendação foi elaborada pelo Grupo de Trabalho criado especialmente para este fim e aprovado pelo Conselho Diretor da IGSBrasil em 16 de junho de 2012. As reuniões, abertas a todos os interessados, ocorreram entre os meses de maio de 2015 e abril de 2016. A Mesa Redonda para apresentação pública e debates foi realizada em 21 de maio de 2015. Todas as sugestões recebidas durante e após os debates foram avaliadas pelo GT que aprovou o encaminhamento para o Conselho Diretor na reunião de 19 de abril de 2016, solicitando sua publicação.

As [empresas, instituições e representantes](#) que participaram das discussões e contribuíram para esta Recomendação são apresentados no fim deste texto

SUMÁRIO GERAL

INTRODUÇÃO

2

1 ESCOPO

3

2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

3

3 TERMOS, DEFINIÇÕES E REPRESENTAÇÕES

4

4 ASPECTOS RELEVANTES DOS RESÍDUOS

8

5 ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS COM GEOSSINTÉTICOS

10

6 COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS E DISPOSITIVOS COM GEOSSINTÉTICOS

15

7 AS DIVERSAS APLICAÇÕES

25

8 PRINCÍPIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO DOS GEOSSINTÉTICOS

32

9 ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO E GARANTIA DE QUALIDADE

35

[SUMÁRIO GERAL »](#)

INTRODUÇÃO

Esta recomendação IGSBrasil 004:2016 tem por objetivo fornecer as informações essenciais para o uso adequado dos geossintéticos em: sistemas de revestimento de fundo e taludes, sistemas de revestimento de cobertura, sistemas de drenagem interna e sistemas de confinamento, aplicados em áreas de disposição e tratamento de resíduos. Destina-se aos projetistas, aos órgãos ambientais, aos responsáveis pela fiscalização e controle de qualidade, aos instaladores de geossintéticos, aos operadores e a qualquer profissional que possa tomar decisões ou julgar projetos relacionados à esta aplicação.

NOTA: O termo resíduo utilizado neste documento engloba os conceitos de resíduos e rejeitos.

Esta recomendação considera os resíduos urbanos, rurais, industriais e de mineração, e aplica-se particularmente nos seguintes casos:

- Implantação de novas áreas de disposição de resíduos,
- Ampliação de áreas de disposição de resíduos existentes,
- Encerramento de áreas de disposição de resíduos
- Cobertura de resíduos pré-existentes
- Implantação de depósitos de resíduos de mineração
- Implantação de lagoas de disposição de resíduos líquidos e lodos
- Desaguamento de lodos e sedimentos
- Biodigestores.

Esta recomendação deve ser aplicada lembrando que:

(a) Qualquer que seja a natureza de um elemento de estanqueidade não existe uma barreira absoluta. O objetivo dos sistemas de Revestimento é de reduzir consideravelmente o transporte de contaminantes em direção ao exterior da área de disposição, buscando minimizar impactos ambientais que poderiam ser causados por reações químicas locais ou pelo fluxo de líquidos e gases, eventualmente presentes ou gerados na massa de resíduo disposta.

(b) O problema é complexo e envolve frequentemente solicitações mecânicas (p.ex. recalques, tração e compressão dos elementos), solicitações físico-químicas (p.ex. temperatura, agressividade do lixiviado), produção de gás, vida de serviço requerida para os componentes geossintéticos bastante elevada, e dificuldade de intervenção no revestimento de fundo após o início da disposição.

Um projeto bem concebido deve selecionar e especificar os geossintéticos levando em conta todas as solicitações, as restrições e particularidades de construção, a operação e o encerramento inerentes à aplicação.

Para atender às necessidades de projetos para áreas de disposição de resíduos, diversos componentes são exigidos. Este texto considera três grandes classes de componentes: sistemas, dispositivos e elementos. Os sistemas são compostos por dispositivos que por sua vez são compostos por elementos.

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)

[COMPOSIÇÃO »](#)

[AS APLICAÇÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

1 ESCOPO

Esta recomendação IGSBrasil IGSR 004 especifica os aspectos relevantes do emprego de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos, considerando resíduos urbanos, industriais e de mineração, com o objetivo de:

- Definir os sistemas e dispositivos contendo geossintéticos e as funções dos seus componentes.
- Informar sobre os principais aspectos relacionados aos sistemas e dispositivos empregando geossintéticos.
- Orientar na consideração dos aspectos dos resíduos susceptíveis de afetar a durabilidade dos sistemas com geossintéticos.

Esta recomendação apresenta os aspectos relevantes a serem considerados para a correta concepção dos sistemas de revestimento de fundo e de

cobertura, sistemas de drenagem interna e sistemas de confinamento, utilizando geossintéticos. Inclui também os cuidados na escolha, instalação e controle de qualidade dos geossintéticos.

Esta recomendação não contempla os sistemas de estabilização mecânica interna e externa do resíduo, e os sistemas de drenagem externa. Também não contempla aplicações de geossintéticos relacionadas à contenção de sedimentos carreados, em superfície ou submersos, ou intervenções emergenciais.

Esta Recomendação é de caráter geral e não substitui normas técnicas ou regulamentos nacionais, ou quaisquer outros documentos emitidos sob a responsabilidade de órgãos governamentais da área ambiental ou não.

2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta recomendação:

IGSBrasil 002-1 Características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 1: Geotêxteis e Produtos Correlatos

IGSBrasil 002-2 Características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 2: Barreiras geossintéticas

IGSBrasil 003 Termos e definições complementares

ISO TS 13434 Geosynthetics - Guidelines for durability. International Standard Organization.

NBR 10004 Resíduos sólidos - Classificação

NBR 16199 Geomembranas termoplásticas – Instalação em obras geotécnicas e de saneamento ambiental

NBR ISO 10318 Geossintéticos - Termos e definições

NBR ISO 10320 Geotexteis e produtos correlatos – Identificação em campo

NBR ISO 10321 Geotexteis e produtos correlatos – Resistência a tração de emendas

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)

[COMPOSIÇÃO »](#)

[AS APLICAÇÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

3 TERMOS, DEFINIÇÕES E REPRESENTAÇÕES

[SUMÁRIO GERAL »](#)

3.1 Termos e definições

3.2 Funções e tipos

3.3 Representações

3.1 Termos e Definições

Este texto considera os termos definidos nas Normas NBR ISO 10318, NBR 16199, os definidos na Recomendação IGSBrasil 003 e os termos apresentados neste item. Letras sublinhadas indicam termos definidos neste item.

NOTA A concepção, composição e principais cuidados a serem considerados para os diversos sistemas e dispositivos são objeto do item 6.

3.1.1 Cobertura diária

É o elemento que recobre o resíduo sólido recém disposto de modo a evitar que a ação do vento ou de animais possa dispersar o material colocado. Esta cobertura também pode auxiliar na redução da infiltração de águas pluviais e da emissão de odores.

A cobertura diária em geossintético pode ou não ser removida antes da colocação das novas camadas de resíduos, em função de suas características. Coberturas diárias em geossintéticos que se degradam em contato com o resíduo (mecânica e quimicamente) são concebidas para atuar em curtos períodos de tempo e não interferir nas condições de comportamento do resíduo. Também existem coberturas diárias em geossintéticos concebidas para serem retiradas no início de um novo período de trabalho e reutilizadas ao fim do período.

No caso de cobertura diária em material particulado (solo natural, resíduos específicos ou misturas) recomenda-se que seja ao menos

parcialmente removida antes da colocação das novas camadas, para não reduzir significativamente o volume disponível para os resíduos e não alterar de modo significativo o fluxo no interior do resíduo.

A fração da camada de cobertura diária incorporada à massa de resíduos dispostos deve ter sua constituição criteriosamente avaliada de modo que sua condutividade hidráulica não interfira na rápida condução dos fluidos que eventualmente percolem através do resíduo.

NOTA: A camada de cobertura diária não será objeto desta recomendação.

3.1.2 Cobertura temporária

É o elemento, ou conjunto de elementos, que recobre o resíduo sólido disposto, com a finalidade de evitar ou reduzir a infiltração da água de chuva, a ação de animais e a saída do biogás (quando o resíduo contiver matéria orgânica). Esta camada pode ser empregada tanto em áreas que irão futuramente receber novas camadas de resíduo, quanto nos locais que já atingiram a cota de projeto, mas que não receberão a cobertura definitiva (ver sistemas de revestimento de cobertura permanente) imediatamente.

Ela pode ser constituída de um simples dispositivo de estanqueidade ou compreender dispositivos de drenagem de gás, de estanqueidade e de proteção que serão incorporados ou não ao sistema de revestimento de cobertura permanente ou definitivo.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)[COMPOSIÇÃO »](#)[AS APLICAÇÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

3.1.3 Dispositivo de controle de erosão superficial (DCE)

Elemento ou conjunto de elementos com a função de controlar a erosão superficial das camadas expostas às intempéries, sendo constituídos por elementos capazes de reduzir a desagregação das partículas pelo impacto das gotas de chuva e pelas solicitações causadas pelo fluxo de água ou ação do vento. São geralmente aplicados sobre o sistema de revestimento de cobertura permanente, na fase de encerramento da área de disposição.

3.1.4 Dispositivo de drenagem (DDG, DDL ou DDA)

Elemento ou conjunto de elementos com a função de coletar e conduzir rapidamente os fluidos líquidos e gasosos eventualmente presentes na massa de resíduos. Eles se dividem em: dispositivo de drenagem de gás (DDG), dispositivo de drenagem de lixiviado (DDL) e dispositivo de drenagem de águas (DDA).

Um elemento de filtro deve ser previsto no dispositivo de drenagem para reduzir o processo de colmatção física do elemento drenante, ou o elemento drenante deve ser dimensionado para exercer as duas funções (filtro e dreno).

3.1.5 Dispositivo de estanqueidade (DEC ou DEF)

Elemento ou conjunto de elementos com a função de barrar, desviar ou retardar o transporte de contaminantes para o meio ambiente. Eles se dividem em: dispositivo de estanqueidade da cobertura (DEC) e dispositivo de estanqueidade de fundo (base e taludes) (DEF).

Os dispositivos de estanqueidade envolvem geralmente a superposição de diversos elementos, podendo ser simples, composto ou duplo.

3.1.6 Dispositivo de proteção mecânica (DPS ou DPI)

Elemento ou conjunto de elementos com a função de proteger um determinado componente de solicitações mecânicas que possam comprometer significativamente sua função. Dividem-se em: dispositivo de proteção superior

(DPS) e dispositivo de proteção inferior (DPI).

Estes dispositivos são empregados para proteger o componente de solicitações provenientes dos processos de instalação, intempéries, operação e outras situações que possam ocorrer ao longo da vida de serviço do componente.

3.1.7 Dreno testemunho

Elemento de drenagem, inserido entre dois elementos de estanqueidade, com a finalidade de indicar aos gestores do empreendimento qualquer problema no elemento de estanqueidade superior. Deve coletar e conduzir rapidamente (geralmente em menos de 24 horas) até o poço de controle, a quantidade mínima de lixiviado detectável estabelecida em projeto.

3.1.8 Sistema de confinamento do resíduo (SCR)

É o sistema contínuo (em forma de bolsa ou tubular) que contém o resíduo em seu interior, podendo ser aplicado à resíduos líquidos (geralmente para armazenamento temporário) ou semi-sólidos (geralmente para desaguamento).

No caso dos resíduos líquidos eles incorporam pelo menos um dispositivo de estanqueidade. No caso de resíduos semi-sólidos, o mais frequente é a utilização de um dispositivo de drenagem que facilite o desaguamento, retendo o particulado.

O confinamento do resíduo o isola do meio ambiente em todas as interfaces e reduz significativamente a infiltração da água de chuva, mesmo no caso de sistema permeável.

3.1.9 Sistema de drenagem interna (SDI)

Sistemas de drenagem interna são os sistemas drenantes dispostos no interior do resíduo, com a finalidade de facilitar a coleta e condução rápida do biogás ou do lixiviado eventualmente produzido ou contido no resíduo.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)[COMPOSICÃO »](#)[AS APLICACÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

3.1.10 Sistema de revestimento de cobertura permanente (SRC)

É o sistema que recobre o resíduo disposto em toda interface com o ar, com a finalidade de evitar ou reduzir a infiltração da água de chuva e a eventual saída de gás, e de preparar a área para uso futuro. Compreende dispositivos de proteção, de drenagem e de estanqueidade.

NOTA: Os dispositivos de estanqueidade nestes sistemas podem ter apenas a finalidade de reduzir a infiltração de águas pluviais ou podem também atuar como barreira para o gás eventualmente gerado pelo resíduo. Esta condição costuma ser adotada quando o resíduo contém matéria orgânica, para garantir a eficiência da.

coleta e aproveitamento do biogás, contribuindo para redução do efeito estufa e geração de energia

3.1.11 Sistema de revestimento de fundo (SRF)

É o sistema que reveste toda a base e taludes sobre os quais os resíduos serão dispostos, com a finalidade de reduzir a níveis aceitáveis o transporte de possíveis agentes contaminantes em toda interface com o solo. Compreende dispositivos de estanqueidade, de proteção e de drenagem.

NOTA: Em função da periculosidade do resíduo os sistemas de revestimento de fundo podem conter dispositivos ou elementos de detecção de vazamentos

3.2 Funções e Tipos

As principais funções desempenhadas pelos geossintéticos em áreas de disposição de resíduos são (NBR ISO 10318):

- Barreira - uso de um geossintético para prevenir ou limitar a migração de fluidos
- Drenagem - coleta e condução de águas pluviais, águas subterrâneas e outros fluidos no plano de um geotêxtil ou produto correlato
- Filtração - retenção do solo ou de outras partículas submetidas a forças hidrodinâmicas, permitindo a passagem do fluido em movimento através ou no interior de um geotêxtil ou produto correlato
- Proteção - limitação ou prevenção de danos localizados em um elemento ou material, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato
- Reforço - uso do comportamento tensão-deformação de um geotêxtil ou produto correlato, para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção
- Separação - prevenção da mistura de dois materiais adjacentes de natureza diferente, solos ou material de aterro, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato.
- Controle de erosão superficial - uso de um geotêxtil ou produto

correlato para evitar ou limitar os movimentos de partículas de solo ou de outros materiais na superfície.

Os sistemas que são objeto desta recomendação incluem um ou mais dos seguintes tipos de geossintéticos (NBR ISO 10318):

- Barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) e argilosas (GCLs), atuando na função de barreira;
- Geotêxteis, atuando nas funções de reforço, filtração, proteção e separação;
- Geogrelhas, atuando na função de reforço e proteção;
- Georredes e geoespaçadores, atuando na função de drenagem; • Geocompostos drenantes atuando na função drenagem, e na função filtração quando geotêxteis com esta função estão incorporados ao produto;
- Geomantas e biomantas atuando no controle de erosão superficial;
- Geocélulas atuando como elemento confinante no controle de erosão superficial e reforço.

NOTA: Geotêxteis não-tecidos agulhados espessos podem também desempenhar a função drenagem

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

3.3 Representações

3.3.1 Elementos componentes dos dispositivos

3.3.1.1 Geossintéticos

Os símbolos adotados para os geossintéticos são os definidos na NBR ISO 10318 (2013) e estão apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 Representação dos geossintéticos (NBR ISO 10318)

Tipo do Geossintético	Sigla	Representação Gráfica
Barreira geossintética argilosa (GCL)	GBR - C	
Barreira geossintética polimérica (geomembrana)	GBR - P	
Geocélula	GCE	
Geocomposto	GCO	
Geogrelha	GCO	
Geomanta	GGR	
Georrede	GNT	
Geotextil	GTX	

3.3.1.2 Outros materiais

Os símbolos adotados para outros materiais presentes nas áreas de disposição de resíduos estão apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 Representação dos materiais não pertencentes à família dos geossintéticos.

Material	Representação Gráfica
Resíduo	
Pedregulho, Brita ou Seixo	
Areia	
Material argiloso ou Compactado	
Solo Natural	

3.3.2 Dispositivos

Os símbolos adotados para representar os dispositivos presentes nas áreas de disposição de resíduos estão apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 Representação dos dispositivos

Dispositivo	Sigla	Representação Gráfica
Dispositivo de drenagem	DDG, DDL ou DDA	
Dispositivo de estanqueidade	DEC ou DEF	
Dispositivo de proteção	DPS ou DPI	
Dispositivo de controle de erosão superficial	DCE	

4 ASPECTOS RELEVANTES DOS RESÍDUOS

[SUMÁRIO GERAL »](#)

4.1 Introdução

4.2 Resíduos com matéria orgânica

4.3 Resíduos de mineração

4.4 Resíduos industriais

4.1 Introdução

O termo resíduo engloba uma grande diversidade de materiais. Este item apresenta apenas os aspectos dos resíduos a serem considerados em projetos com geossintéticos. É fundamental manter presente que esta recomendação, ao usar o termo resíduo, está se referindo ao conjunto dos resíduos e rejeitos a serem dispostos em áreas específicas.

Os resíduos podem ser diretamente encaminhados para disposição ou passar previamente por etapas de pré-tratamento para redução de volume, redução da periculosidade ou aceleração de processos de degradação, podendo

existir significativa diferença entre os requisitos para disposição de resíduos de origem comum, em função do tipo de pré-tratamento.

Este item apresenta os aspectos relevantes a serem considerados, separando-os em: resíduos com matéria orgânica, resíduos de mineração e resíduos industriais.

NOTA: Resíduos hospitalares são geralmente encaminhados para incineração e resíduos radioativos não são abordados por esta recomendação.

4.2 Resíduos com matéria orgânica

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos contendo matéria orgânica estão associados ao processo de decomposição desta matéria, gerando biogás e lixiviado, com variação do volume de sólidos armazenado ao longo do tempo.

O processo de decomposição da matéria orgânica, natural ou acelerado, resulta em variação no tempo do volume e da composição do lixiviado e do biogás gerado, e em grandes deformações devido à transformação da matéria orgânica. As bactérias e reações químicas presentes no resíduo podem gerar processos de colmatação biológica e química em filtros e drenos.

O processo de disposição destes resíduos varia em função de suas diferentes formas de apresentação:

- resíduos sólidos (resíduos sólidos urbanos, p. ex.), geralmente dispostos em valas ou células;
- resíduos líquidos (lixiviados ou efluentes industriais, p.ex.), geralmente dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou em tubos reforçados de geomembrana polimérica, e
- resíduos semi-sólidos (dejetos de animais, lodos de estações de tratamento, p.ex.), que também podem ser dispostos em biodigestores, reservatórios ou lagoas de disposição temporária, ou serem desaguados em lagoas de drenagem ou sistemas de confinamento em geotêxtil (tubos ou bolsas).

Em todos os casos em que houver produção significativa de gás um sistema de coleta e condução do gás é recomendado.

4.3 Resíduos de mineração

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos de mineração estão associados aos processos de extração, tratamento e disposição do minério e seus resíduos. Além dos aspectos de agressividade química ou mecânica associados aos processos de extração e tratamento dos minérios, a filtração e drenagem podem exigir cuidados especiais devido à heterogeneidade do material a ser disposto e à frequente susceptibilidade à sufusão, com partículas finas percorrendo livremente uma estrutura de poros de maiores dimensões. .

O processo de disposição destes resíduos varia em função de suas diferentes formas de apresentação:

- resíduos sólidos geralmente dispostos em valas, células ou pilhas;
- resíduos líquidos, geralmente dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou em tubos reforçados de geomembrana polimérica,
- resíduos semi-sólidos, que podem ser dispostos em reservatórios ou lagoas cobertas ou não, ou serem desaguados em lagoas de drenagem ou sistemas de confinamento em geotêxtil (tubos ou bolsas).

4.4 Resíduos industriais

Os principais aspectos a serem considerados em resíduos da indústria estão associados aos processos de fabricação e descarte dos resíduos, abrangendo desde grandes volumes de material de características semelhantes (areia de fundição p.ex.) a pequenos volumes de material com elevado risco de impacto ambiental ou muito contundentes. Deste

modo, podem ser classificados como Classe II ou Classe I (NBR 10.004), em função do risco ambiental.

Quanto ao processo de disposição, ele varia em função das diferentes formas de apresentação, como descrito em 4.2.

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSIÇÃO »](#)

[AS APLICAÇÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

5 ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS COM GEOSSINTÉTICOS

[SUMÁRIO »](#)

5.1 Introdução

5.2 Peculiaridades

5.3 Cuidados associados as diversas fases

5.4 Sequencia geral da concepção do projeto

5.1 Introdução

, O objetivo deste item é fornecer os conceitos básicos e os princípios a serem considerados no projeto, dimensionamento e instalação dos geossintéticos presentes em áreas de disposição de resíduos, com uma abordagem funcional, definindo as características a serem especificadas para cada geossintético, de acordo com a aplicação e sua função no sistema.

NOTA: Não é objetivo desta recomendação fornecer indicações nem detalhes sobre os métodos de cálculo a serem empregados pelo projetista, que deve escolhê-los tendo em vista o estado da arte e sua experiência profissional.

Os aspectos da concepção relativos aos outros materiais serão abordados somente se estes tiverem interferência com os geossintéticos.

5.2 Peculiaridades

5.2.1 Complexidade do tema

Devido à complexidade e às peculiaridades relacionadas aos resíduos a serem dispostos, é de fundamental importância que a concepção dos sistemas envolvendo geossintéticos aplicados na proteção das áreas de disposição considere os diversos aspectos relacionados ao problema, podendo-se citar como mais relevantes:

a) Para os dispositivos de estanqueidade:

-Solicitações mecânicas – recalques diferenciais na superfície, tensões normais e cisalhantes nos taludes, punção estática, variações da poro-pressão em função das pressões de gás e do percolado;

-Solicitações físico-químicas – reações de contato entre resíduos e geossintéticos, fluxo de lixiviado e de biogás, temperatura do resíduo disposto, variação da temperatura no geossintético e degradação por raios UV no caso de exposição ao intemperismo;

-Vida de Serviço de Projeto de longa duração;

-Dificuldade de intervenção em sistemas de revestimento de fundo após o início da disposição do resíduo.

b) Para os dispositivos de drenagem:

-Processos de colmatção química ou biológica dos elementos de filtro e dreno;

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)[COMPOSIÇÃO »](#)[AS APLICAÇÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

-Variabilidade, no espaço e no tempo, da composição e dimensão das partículas a reter;

-Risco de sufusão podendo causar colmatação física – se o filtro as reter - ou processos erosivos – se o filtro for muito aberto;

-Dificuldade de intervenção após a disposição do resíduo.

c) Para os dispositivos de proteção:

-Necessidade de evitar danos ao dispositivo de estanqueidade face ao processo construtivo e a disposição de resíduos ou materiais de características agressivas e variadas;

-Necessidade de garantir que as deformações, por punção ou tração, não ultrapassem os valores aceitáveis para o elemento de barreira, lembrando que estas deformações devem ser muito baixas para elementos sujeitos a fissuramento sob tensão (“stress cracking” ambiental).

A concepção das áreas para disposição de resíduos, como toda obra da engenharia civil, necessita do conhecimento de diversos setores: geologia, hidrogeologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica e materiais. Além das exigências regulamentares, a concepção deve considerar um vasto conjunto de informações e restrições locais, como por exemplo:

- natureza do terreno,
- meio ambiente, habitações, zoneamento por classe e risco
- atividade da exploração, tipo, natureza e quantidade de resíduos
- exigências relacionadas à segurança
- amplitude e duração das medidas de controle e monitoramento da área, principalmente se houver geração de lixiviado e biogás
- fases e etapas do empreendimento
- superfície disponível e altura máxima permitida
- programa de encerramento e reutilização.

O estudo geotécnico deve cobrir os seguintes aspectos:

- o meio ambiente da área de disposição
- as características geológico, geotécnicas e hidrológicas do sub-solo
- a disponibilidade e o impacto da exploração de materiais naturais e o interesse de buscar soluções alternativas
- os sistemas de revestimento de fundo (base e lateral)
- os processos de disposição e as condições de operação
- os sistemas de drenagem interna, quando necessários
- o comportamento do resíduo e sua interação com os diversos dispositivos presentes na área, lembrando que certos resíduos tem em sua composição fases sólida, líquida e gasosa em contínua mutação
- os aspectos geotécnicos relacionados à exploração e à coleta do percolato e do biogás, quando presentes
- o sistema de revestimento de cobertura permanente
- os aspectos geotécnicos de recomposição e uso futuro da área
- o monitoramento de longo prazo após o encerramento.

Sendo necessário analisar as interações entre estes pontos e as consequências de falhas no funcionamento de partes da estrutura sobre a segurança global da obra a curto e a longo prazo.

A concepção de uma área para disposição de resíduos é uma operação complexa e deve ser objeto de estudo minucioso, realizado por uma equipe multidisciplinar capaz de analisar todos os aspectos e restrições necessários para a garantia da qualidade e segurança ambiental da obra durante todas as suas fases: construção, operação e encerramento da área.

É importante que os estudos realizados componham um relatório que indique todas as exigências da concepção e demonstre que o patamar de segurança exigido será alcançado pelas disposições adotadas. Os documentos legislativos, regulamentares ou normativos considerados devem ser citados

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)

[COMPOSIÇÃO »](#)

[AS APLICAÇÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

5.2.2 Durabilidade

Conforme a ISO TS 13434 a durabilidade de uma estrutura com geossintéticos é governada por sua estrutura física, pela natureza do polímero utilizado, pelo processo de fabricação, pelo ambiente físico-químico, pelas condições de armazenamento e de instalação, e pela carga suportada pelo geossintético. Considerando que o tempo influencia as propriedades funcionais dos geossintéticos, a avaliação da durabilidade das estruturas utilizando estes materiais requer um estudo dos efeitos do tempo sobre suas propriedades durante toda a vida de serviço prevista em projeto (IGSBrasi 002 e 003).

A maioria dos geossintéticos corretamente processados e estabilizados, é comparativamente resistentes aos ataques químicos e microbiológicos encontrados em ambientes normais e tempos de vida de serviço de projeto usuais. Para tais aplicações, apenas um número mínimo de ensaios de rastreio e de ensaios índice costuma ser necessário. Para aplicações em ambientes mais severos, como é o caso de áreas de disposição de resíduos, nas quais além das condições ambientes a vida de serviço de projeto costuma ser longa, é geralmente necessário avaliar a durabilidade considerando também ensaios específicos (ISO TS 13434 e IGSBrasil 002-1 e 002-2).

No caso dos geossintéticos aplicados em áreas de disposição de resíduos uma atenção especial deve ser dada à temperatura atuante e à compatibilidade química entre os diversos elementos, considerando todo o tempo de vida de serviço do geossintético previsto em projeto.

5.2.3 Aspectos relativos às barreiras geossintéticas argilosas (GCL)

As barreiras geossintéticas argilosas (GCL) são constituídas por uma camada de material argiloso bentonítico, na forma de pó ou granulado, disposto entre duas camadas de geossintético. Os principais tipos de bentonita empregados são:

- a bentonita sódica cujo mineral constituinte principal é a esmectita sódica;
- a bentonita cálcica cujo mineral constituinte principal é a esmectita cálcica;

- a bentonita cálcica ativada ou modificada que é a bentonita cálcica modificada quimicamente.

As bentonitas podem também ter adição de polímeros para melhorar sua resistência química e suas propriedades de expansibilidade e de condutividade hidráulica, que são diferentes em função de sua composição. O projeto deve considerar estes fatores e seu comportamento no tempo, na especificação e seleção do produto mais apropriado (ver GRI-GCL5 2013¹ p.ex.).

O acoplamento entre os elementos sintéticos e o elemento bentonítico pode ser feito de diversos modos sendo os mais comuns:

- Acoplamento por agulhagem: a camada de bentonita é mantida entre duas camadas de geotêxtil, com pelo menos uma delas em não tecido, por um processo de agulhamento que une de forma uniforme os constituintes em toda a superfície, atravessando a espessura do conjunto, de modo a ancorar as fibras ou filamentos do geotêxtil não tecido no outro geotêxtil componente;
- Acoplamento por costura: a camada de bentonita é mantida entre duas camadas de geotêxtil por um processo de costura que segue um padrão definido pelo fabricante.

Em alguns casos um elemento auxiliar de contenção da bentonita ou de aumento de eficiência da barreira é incorporado ao produto.

O processo de acoplamento interfere de modo significativo no padrão de expansão do elemento bentonítico e no comportamento mecânico, principalmente em relação à resistência ao descolamento e ao cisalhamento entre elementos. Nas aplicações em áreas de disposição de resíduos nas quais espera-se que a barreira geossintética argilosa (GCL) atue como “cicatrizante” de eventuais pontos de falha da barreira geossintética polimérica (geomembrana), a expansão deve ser uniforme, de modo a evitar a formação de vazios. Nas aplicações em talude, cuidado especial deve ser tomado na escolha e controle de qualidade de produtos cuja resistência ao cisalhamento entre elementos atenda as exigências de projeto

¹ GRI-GCL5 (2013) Design Considerations for Geosynthetic Clay Liners (GCLs) in Various Applications. Geosynthetic Institute-GRI

5.3 Cuidados associados às diversas fases do processo

5.3.1 Fase de construção e implantação

Os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de construção e implantação já devem ser considerados durante a concepção salientando-se :

- verificar a proteção dos componentes instalados (em particular nos dispositivos de estanqueidade e drenagem)
- verificar se o espaço é suficiente para os processos de construção
- verificar a facilidade e simplicidade do processo construtivo
- verificar as condições climáticas
- verificar a disponibilidade dos materiais prescritos
- avaliar a coleta e drenagem das águas superficiais
- avaliar a mitigação dos impactos ambientais provocados pela obra.

5.3.2 Fase de operação

Os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de operação também devem ser considerados durante a concepção, salientando-se:

- acompanhamento da obra (estabilidade, deformações, recalques do maciço de resíduos e do solo, percolado, biogás, lençol freático, entre outros)
- métodos de disposição dos resíduos
- necessidade de cobertura diária ou temporária
- infraestrutura da operação (prédios, estradas, acessos, entre outros)

- coleta e drenagem das águas superficiais, do percolado e do biogás
- instalação de barreiras de sedimentos para conter material solto passível de ser carreado pela chuva
- requisitos ambientais, como emissão de poeira e ruído.

5.3.3 Fase de encerramento

Durante a concepção devem ser considerados os aspectos específicos e cuidados a serem tomados durante a fase de encerramento, salientando-se:

- as medidas previstas para a cobertura e a recuperação da área e sua utilização futura, considerando os recalques dos resíduos, a drenagem e a emissão de gases, quando houver;
- o monitoramento após encerramento;
- o possível reaproveitamento dos resíduos.

Ao término dos estudos sobre a concepção e dimensionamento, é desejável ter disponíveis os seguintes documentos:

- o relatório do estudo incluindo a memória de cálculo;
- a planta da área;
- o planejamento das fases de construção e implantação;
- as funções, natureza e quantidade dos materiais a serem empregados;
- a definição da quantidade requerida e as exigências mínimas para a qualidade em relação aos processos e controles.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)[COMPOSICÃO »](#)[AS APLICACÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

5.4 Sequência geral da concepção do projeto

A sequência geral das tarefas a serem consideradas na concepção está apresentada no Quadro 5.1, que resume as diversas etapas do projeto.

Quadro 5.1 Etapas da concepção.

Etapas	Item desta recomendação
Escolha das linhas diretrizes da composição	4, 5, 6 e 7
Escolha da natureza dos dispositivos e seus componentes	4,5, 6 e 7
Definição das funções de cada componente	6 e 7
Escolha das características a especificar para cada componente	8
Dimensionamento das propriedades de cada componente	8
Especificação para a seleção de cada componente	9 (Ver IGSBrasil Rec. 002 e 003)
Especificação para o recebimento, aceitação e instalação – Plano de Verificação da Qualidade	9 (Ver IGSBrasil Rec.002 e 003)

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

6 COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS E DISPOSITIVOS COM GEOSSINTÉTICOS

[SUMÁRIO GERAL »](#)

6.1 Introdução

6.2 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de fundo (SRF)

6.3 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de cobertura (SRc)

6.4 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de drenagem interna (SDI)

6.5 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de confinamento de resíduos (SCR)

6.6 Concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade (DEF e DEC)

6.7 Concepção e escolha dos dispositivos de drenagem (DDA, DDL e DDG)

6.8 Concepção e escolha dos dispositivos de proteção (DPI e DPS)

6.9 Concepção e escolha dos dispositivos de controle de erosão superficial (DCE)

6.1 Introdução

Em todos os casos de disposição de resíduos, um sistema de revestimento de fundo, mais ou menos complexo, deve ser previsto. A estrutura destes sistemas agrega as qualidades e características de diversos dispositivos e elementos componentes, escolhidos em função do tipo de resíduo, da periculosidade do resíduo e das peculiaridades dos meios adjacentes, buscando atender as premissas de projeto para cada situação.

Sistemas de revestimento de cobertura ou de drenagem interna podem ou não ser empregados em função de aspectos da aplicação e do resíduo, das necessidades do projeto e do meio ambiente. Eles também tem em sua estrutura diversos dispositivos e seus componentes são selecionados buscando garantir a eficiência do sistema.

A disposição do resíduo em bolsas ou tubos geossintéticos compõe um sistema de confinamento de resíduos, também apresentado neste item. Estes sistemas podem ser compostos por um dispositivo drenante (no caso de sistema

drenante) ou de barreira (no caso de dispositivo não drenante) podendo ser formados por um ou vários elementos.

A concepção de cada dispositivo deve considerar as funções desempenhadas por cada geossintético, as condições do seu entorno, do resíduo e de operação. Este item apresenta a composição dos sistemas e dispositivos mais frequentemente empregados.

Todos os elementos que possam ter contato com o resíduo ou seu lixiviado devem ter avaliada sua compatibilidade química com o meio adjacente e com os fluidos percolantes.

Os objetivos e características gerais, os componentes e os cuidados especiais relacionados aos diversos sistemas estão apresentados nos sub-itens 6.2 a 6.5.

A concepção e escolha dos diversos dispositivos estão discutidas nos sub-itens 6.6 a 6.9.

6.2 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Fundo (SRF)

6.2.1 Objetivos e características gerais de um SRF

Os sistemas de revestimento de fundo fazem a interface com o solo ou outras estruturas de suporte e, em áreas de disposição de resíduos são o instrumento principal de controle do transporte de poluentes e de proteção do solo e das águas subterrâneas.

Estes sistemas contém obrigatoriamente em sua estrutura um dispositivo de estanqueidade, mas é preciso que todos os envolvidos na disposição de resíduos estejam conscientes de que, qualquer que seja sua natureza (mineral, sintética ou mista), não existe barreira que possa garantir a estanqueidade absoluta. Assim, o sistema deve ser concebido para reduzir a níveis aceitáveis (definidos pela autoridade competente) a passagem de poluentes através do dispositivo de estanqueidade.

Deste modo, o projeto deve também considerar o processo construtivo, de forma a preservar ao máximo a integridade das propriedades dos elementos de estanqueidade, com um processo de instalação que seja o mais rigoroso possível, priorizando minimizar o número e a dimensão dos danos.

Camadas de argila compactada, mesmo bem executadas, raramente atingem coeficientes de permeabilidade inferiores a 10^{-7} m/s. Além disto, são passíveis de micro e macro fissuras que podem influir de modo expressivo na velocidade de avanço da pluma de contaminação.

As barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) íntegras apresentam permeabilidade geralmente inferior a 10^{-10} m/s e o transporte através delas se faz basicamente por difusão ou sorção, de modo que havendo compatibilidade química, ou seja, não havendo reações químicas que alterem significativamente sua composição, elas representam uma barreira considerável ao transporte de poluentes. Durante a instalação pequenos furos

ou rasgos são inevitáveis, implicando em danos ao elemento de barreira polimérico, tornando possível uma condição de fluxo advectivo através dele. Danos maiores podem causar a passagem significativa de contaminantes, sendo importante estar previsto no Plano de Verificação de Qualidade, um processo de controle que permita a identificação e reparo dos danos e garantia da qualidade do dispositivo.

Áreas de disposição com sistemas de revestimentos bem concebidos e executados reduzem consideravelmente o transporte de contaminantes para seu exterior. Para que um sistema de revestimento seja considerado bem concebido e executado é fundamental que os conceitos básicos e as premissas de projeto recomendadas sejam atendidas e respeitadas, tanto na concepção, como durante a instalação e operação. Durante a fase de instalação, o Plano de Verificação da Qualidade (ver IGSBrasil003), estabelecido no projeto, deve ser criteriosamente acompanhado e avaliado.

6.2.2 Componentes de um SRF

Os sistemas de revestimento de fundo devem ter em sua estrutura, além do dispositivo de estanqueidade de fundo (DEF) que deve estar obrigatoriamente presente, dispositivos de proteção mecânica (DPI ou DPS) e de drenagem de lixiviado (DDL), sempre que se fizer necessário. A concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade de fundo, de drenagem e de proteção estão apresentados em 6.6.1, 6.7 e 6.8 respectivamente.

Os dispositivos componentes destes sistemas e os elementos componentes de cada dispositivo são escolhidos em função do tipo de aplicação, do tipo de resíduo, do risco de contaminação e de peculiaridades do meio ambiente. A Figura 6.1 ilustra um exemplo de estrutura deste tipo de sistema.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)[COMPOSICÃO »](#)[AS APLICACÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

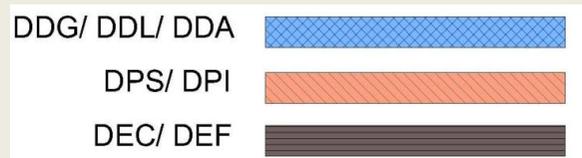


Figura 6.1 Exemplo de estrutura de sistema de revestimento de fundo para solo natural com boa condição de suporte e resíduo que necessita coleta e condução de lixiviado.

6.2.3 Princípio básicos dos SRF

Alguns princípios básicos devem ser considerados na concepção e escolha dos componentes. Entre as premissas de projeto a serem adotadas tem-se que:

- O dispositivo de estanqueidade de fundo deve ser concebido em função dos aspectos da aplicação e do resíduo (ver item 7), da periculosidade do resíduo e das condições do meio ambiente (ver 6.6.1).
- O dispositivo de estanqueidade de fundo deve ter somente a função de barreira, não devendo ser solicitado mecanicamente.
- Para atender esta condição, o projeto pode contar com dispositivos de proteção mecânica concebidos para absorver eventuais solicitações de tração e de punção. A complexidade dos dispositivos de proteção mecânica é função das condições do solo suporte, da agressividade dos meios adjacentes e das características dos elementos do dispositivo de estanqueidade. Os elementos componentes do dispositivo de proteção devem ser sempre especificados em função do tipo de elemento contundente e das solicitações mecânicas.

NOTA1: Para reduzir danos localizados no dispositivo de estanqueidade, o dispositivo de proteção geralmente utilizado é um geotêxtil não-tecido bastante espesso ou um geotêxtil não-tecido mais uma camada de material granular. No caso de opção pela camada de material granular é recomendável que seja uma areia fina, não submetida a esforços de compactação. Quando houver um dispositivo de drenagem sobre o dispositivo de proteção, a espessura de material granular de proteção deve ser tal que possa ser atendida a exigência (e) deste item, o que significa uma camada de proteção com no máximo 200mm.

NOTA 2: Para reduzir as solicitações em tração podem ser empregados no dispositivo de proteção geotêxteis tecidos ou geogrelhas de elevada rigidez.

- Nos sistemas aplicados em superfícies inclinadas cada elemento deve ter avaliadas suas características de atrito de interface e a solicitação em tração que recebe e transmite ao elemento adjacente.
- Um sistema de revestimento de fundo em áreas que irão receber resíduos que contenham ou possam gerar lixiviado, ou que estejam expostos às intempéries durante a fase de operação, requer sempre um dispositivo de drenagem eficiente. Este dispositivo deve ser concebido e dimensionado de modo a garantir que a carga hidráulica sobre o dispositivo de estanqueidade seja sempre inferior à máxima estabelecida em projeto (geralmente 30cm), pois o fluxo advectivo através dos eventuais danos do sistema de revestimento é diretamente proporcional à carga hidráulica.
- A compatibilidade química dos elementos componentes do sistema de revestimento de fundo com o resíduo e seu lixiviado deve ser criteriosamente avaliada, parâmetros tais como a concentração, pH, temperatura, presença de solventes e hidrocarbonetos, por exemplo, devem ser identificados e considerados pelos responsáveis pelo projeto. No caso de dúvida, ensaios de compatibilidade química devem ser realizados (ver ISO TS 13434).

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

6.2.4 Cuidados especiais

O dispositivo de estanqueidade de fundo da barreira geossintética polimérica (geomembrana) deve ter unicamente a função de barrar e desviar o fluxo dos lixiviados e não deve ser solicitado mecanicamente. Por consequência, o apoio do dispositivo de estanqueidade de fundo deve ser concebido e dimensionado para responder às solicitações mecânicas relativas à carga dos resíduos a serem dispostos sem apresentar recalques que possam interferir de modo significativo no comportamento do dispositivo de estanqueidade.

No caso de solo natural com capacidade de suporte insuficiente, a melhora da capacidade de suporte pode ser obtida por um dispositivo de proteção inferior (DPI), como por exemplo, um geossintético de elevada rigidez à tração,

posicionado sobre o solo natural, e abaixo do dispositivo de estanqueidade.

No caso de dispositivo de estanqueidade simples, cujo solo tenha capacidade de suporte mas não atenda os critérios de preparação do terreno (ver NBR 16199 e item 6.6.1.2) um dispositivo de proteção inferior protegendo ao punçãoamento deve ser introduzido.

Um sistema de revestimento de fundo sobre solo de fundação com risco de geração de biogás (solos com forte presença de matéria orgânica ou que receberam lixiviados orgânicos como antigas lagoas de disposição de vinhoto, por exemplo) deve conter obrigatoriamente um dispositivo de drenagem do biogás, sob o dispositivo de estanqueidade adotado.

6.3 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Revestimento de Cobertura (SRC)

6.3.1 Objetivos e características gerais de um SRC

Os sistemas de revestimento de cobertura permanente (SRC) protegem a interface com o ar e são o instrumento principal de controle da infiltração de águas pluviais e da emissão de biogás (no caso de resíduos com matéria orgânica). Deste modo considera-se que eles incorporem um dispositivo de estanqueidade (DEC) que será acoplado ou não a outros dispositivos.

Em algumas coberturas a solicitação em tração do dispositivo de estanqueidade é inevitável, como por exemplo na cobertura de biodigestores e de aterros de resíduos sólidos urbanos. Neste caso, os elementos do dispositivo devem ser selecionados dentre os capazes de suportar estas solicitações.

Sistemas de revestimento de cobertura temporária (ver 3.1.2) podem ser necessários para reduzir a infiltração de águas pluviais na fase de operação, em função do tipo de aplicação, do tipo de resíduo, das condições ambientes e de projeto.

Em áreas onde um recalque expressivo é esperado, costuma-se aplicar uma cobertura temporária assim que a altura máxima de projeto é atingida, sendo a cobertura definitiva realizada após atingir um nível de estabilidade dos recalques aceitável.

6.3.2 Componentes de um SRC

Além do dispositivo de estanqueidade de cobertura (DEC), os sistemas de revestimento de cobertura podem conter em sua estrutura dispositivos de drenagem de gases (DDG), dispositivos de drenagem de águas pluviais (DDA) e dispositivos de proteção mecânica (DPI e DPS), em função das necessidades de cada aplicação ou projeto. Estes dispositivos estão discutidos respectivamente nos itens 6.6.2, 6.7 e 6.8.

Em alguns casos um dispositivo de controle de erosão superficial em geossintético (ver 6.9) é incorporado acima da camada de solo de cobertura para protegê-la de procesos erosivos.

A Figura 6.2 ilustra um exemplo de sistema de revestimento de cobertura para o caso de um aterro de resíduos sólidos urbanos.

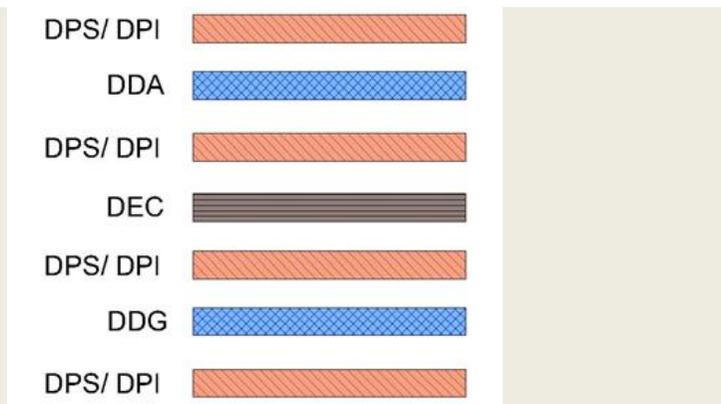


Figura 6.2 Exemplo de estrutura de sistema de revestimento de cobertura em área de disposição de resíduos sólidos urbanos.

6.3.3 Cuidados especiais

Dispositivos de proteção mecânica para uniformização dos recalques causados pelo adensamento e decomposição do resíduo podem ser adotados quando o risco de deformações excessivas possa prejudicar o funcionamento dos dispositivos de drenagem. Estes dispositivos também auxiliam a reduzir as solicitações de tração no dispositivo de estanqueidade de cobertura.

Os geossintéticos aplicados na cobertura de biodigestores ou de reservatórios de resíduos líquidos podem ficar expostos aos raios UV por longos períodos, em função das características do projeto e de operação da área. Os geotêxteis e correlatos que ficarem expostos por período superior a um dia, ou as geomembranas poliméricas expostas por mais de três dias, devem ser selecionadas também em função de sua resistência ao intemperismo (ver Recomendação IGSBrasil 002-2 e ISO TS 13434), considerando-se o tempo de exposição previsto em projeto para cada material.

Sistemas de revestimento de cobertura posicionados sobre superfícies inclinadas devem ter a estabilidade ao escorregamento e as solicitações em tração recebidas e transmitidas por cada um de seus elementos, cuidadosamente avaliadas. Cuidado especial deve ser tomado no dimensionamento do dispositivo de drenagem de águas pluviais e na avaliação das características de atrito de interface do dispositivo de proteção mecânica superior. É recomendável considerar na análise de estabilidade da camada de solo a condição de fluxo paralelo ao talude, ou estabelecer condições para que este fenômeno não possa ocorrer.

Em função do tipo de solo colocado sobre o sistema de revestimento de cobertura e do tempo previsto para que uma proteção vegetal evite processos erosivos, a adoção de um dispositivo de controle de erosão superficial em geossintético (ver 6.8) pode ser recomendável.

6.4 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Drenagem Interna (SDI)

6.4.1 Objetivos e características gerais de um SDI

Os sistemas de drenagem interna (SDI) tem o papel de coletar e conduzir rapidamente o lixiviado ou o gás produzido pelo resíduo ou nele contido. Eles devem ser considerados, sempre que necessário, nas áreas de disposição de resíduos sólidos, para evitar acúmulo de líquidos ou biogás.

Estes sistemas são responsáveis pela eficiência da drenagem em todo o volume do resíduo disposto, de modo a evitar excesso de propressão e reduzir o risco

de instabilidade do maciço, além de promover condições mais apropriadas à decomposição quando houver matéria orgânica. Sistemas de drenagem interna do biogás bem concebidos e implantados, assumem papel ainda mais relevante nas áreas onde há coleta e aproveitamento deste gás.

Os sistemas de drenagem interna podem ser estruturados numa única direção (vertical ou horizontal) ou estar presentes nas duas direções, em função das dimensões da área e dos volumes a coletar e conduzir.

6.4.2 Componentes de um SDI

Sistemas de drenagem interna tem como componentes principais os dispositivos de drenagem (DDL e DDG), que englobam elementos drenantes e elementos de filtro. Dispositivos de proteção mecânica podem ser incorporados quando necessário para garantir a eficiência do sistema.

6.4.3 Cuidados especiais

Na concepção dos sistemas de drenagem interna deve ser considerada a deformabilidade do resíduo e os deslocamentos e recalques a que poderiam estar submetidos. Resíduos sólidos urbanos, por exemplo, sofrem recalques diferenciais consideráveis e o sistema precisa ser concebido de tal modo que

possa funcionar mesmo nestas condições.

SDI empregados em aterros de resíduos sólidos urbanos também precisam ter avaliados os riscos de colmatação química e biológica dos elementos de filtro e dreno.

SDI empregados na disposição de rejeitos de mineração também precisam considerar a heterogeneidade do material a ser disposto e a possibilidade de sufusão. A situação de filtração de partículas em suspensão, seja pelo processo de disposição ou pelo tipo de resíduo (matriz aberta com possibilidade de passagem livre de finos) pode exigir uma concepção que considere a possibilidade de troca ou retrolavagem do filtro

6.5 Concepção e escolha dos componentes de um Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR)

6.5.1 Objetivos e características gerais de um SCR

Os sistemas de confinamento de resíduos (SCR) são sistemas com o papel de confinar de modo seguro o resíduo contido em seu interior, tendo a forma de tubos ou bolsas. Considera-se o SCR um sistema fechado quando existe o controle de afluentes e efluentes.

Eles podem ser estanques, quando tem um dispositivo de estanqueidade, e ser utilizados para a disposição de resíduos líquidos ou semi-sólidos, geralmente de modo temporário. Quando eles incorporam um dispositivo de drenagem, são utilizados para o desaguamento de resíduos semi-sólidos.

No caso de utilização para desaguamento, seu emprego pode ser:

- temporário, quando o sistema é aberto após o resíduo atingir o teor de sólidos desejado, sendo então retirado e transportado para o local de destino final;
- permanente, quando o sistema permanesse fechado, no local de enchimento (no caso de tubos ou bolsas de grandes dimensões) ou transportado até o local de destino final (no caso de bolsas de menor dimensão, que costumam ter alças para facilitar o transporte e a colocação).

É frequente nestes casos que o enchimento seja realizado em diversas etapas. Os sistemas de confinamento de resíduos devem ter em sua concepção elementos que resistam às solicitações mecânicas impostas pelo resíduo confinado, com atenção especial às costuras ou soldas em seus elementos, de modo a garantir a integridade do confinamento.

Outro aspecto relevante no caso de sistemas para desaguamento é sua

capacidade de reduzir significativamente a infiltração de águas pluviais. Para maximizar esta capacidade, os geossintéticos empregados, principalmente os externos, devem ter característica hidrofóbica.

Uma característica importante de sistemas confinantes aplicados para o desaguamento de resíduos é a possibilidade de controle da qualidade do efluente, que pode ser melhorada pela adição de floculantes ou de outros aditivos.

6.5.2 Componentes de um SCR

Sistemas de confinamento de resíduos tem como componentes principais um dispositivo de estanqueidade, para o confinamento de líquidos e particulados, ou um dispositivo de drenagem, no caso de desaguamento de semi-sólidos.

No caso de SCR com dispositivo de estanqueidade, um dispositivo de proteção externo deve ser incorporado para reduzir as solicitações mecânicas e a deformabilidade do elemento de estanqueidade. O dispositivo de proteção pode ser composto por um elemento contínuo (geotêxtil ou geogrelha de baixa deformabilidade), ou por tiras de reforço com rigidez e espaçamento suficientes, ou composto por elementos contínuos e tiras. Em todos os casos o dispositivo de proteção deve considerar também tirantes para garantia da estabilidade ao rolamento.

No caso de SCR com dispositivo de drenagem, este dispositivo deve conter pelo menos um elemento de filtração, podendo receber um dispositivo de proteção mecânica caso a resistência mecânica do elemento de filtração não seja suficiente para a garantia da resistência aos esforços de tração ou ele seja muito deformável.

6.5.3 Cuidados especiais

Na concepção dos SCR deve ser considerada a pressão de enchimento máxima admissível e as solicitações mecânicas associadas. A altura máxima que a bolsa ou tubo pode atingir durante o enchimento, calculada a partir das solicitações em tração admissíveis, é geralmente utilizada para o controle rápido em campo.

As costuras dos elementos permeáveis, ou as soldas dos elementos de barreira de fluxo, devem ser cuidadosamente realizadas e ensaiadas. Tanto elas quanto os elementos componentes devem ter a compatibilidade química e a resistência ao intemperismo avaliadas para o tempo de serviço previsto,

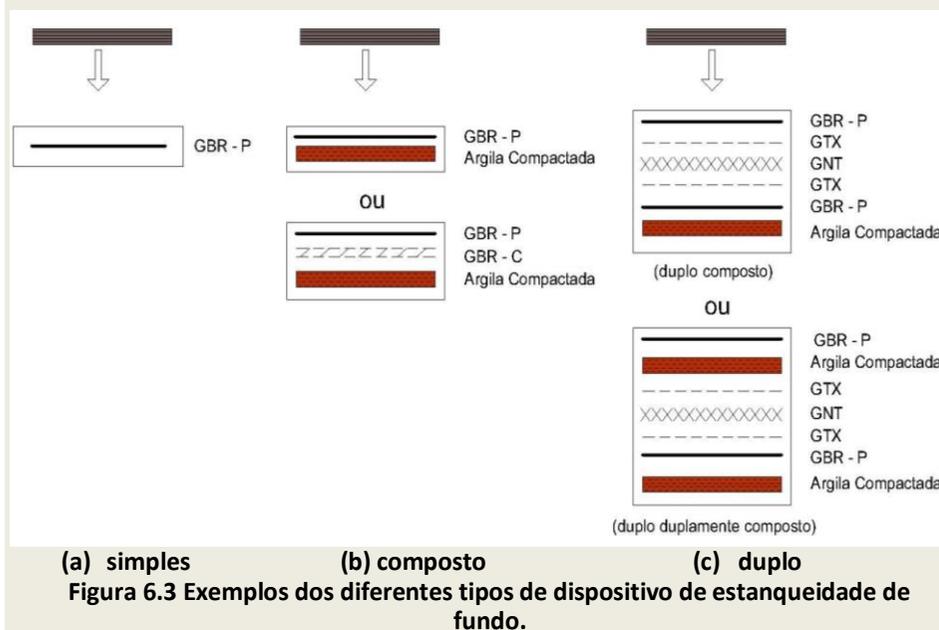
lembrando que estarão muitas vezes, expostos às intempéries em condições severas durante longos períodos.

Toda a superfície de contato de um SCR com o solo de fundação deve ser protegida por um sistema de revestimento de fundo (SRF), mesmo no caso de efluente com qualidade aceitável para ser lançado no meio ambiente. No caso de resíduo contaminado, por questões de segurança, o SRF deve ter capacidade para conter todo o volume do resíduo, prevenindo danos ambientais causados por eventual falha no confinamento, ou estar interligado a um reservatório (bacia de detenção) adequadamente dimensionado.

6.6 Concepção e escolha dos dispositivos de estanqueidade (DEF e DEC)

6.6.1 Dispositivo de Estanqueidade de Fundo (DEF) – Tipos e cuidados especiais

6.6.1.1 Os dispositivos de estanqueidade para sistemas de revestimento de fundo (DEF) atuam na base e taludes e são escolhidos em função da periculosidade do resíduo ou das condições locais, podendo ser classificados em simples, compostos e duplos, conforme ilustra a Figura 6.3.



NOTA : É recomendável que o dispositivo de estanqueidade de fundo seja no mínimo composto, no caso de resíduo Classe II ou III, e duplo com fundo composto para resíduo Classe I.

6.6.1.2 O dispositivo de estanqueidade simples consiste de um único elemento de estanqueidade, geralmente uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), podendo ser empregado no caso de resíduo não perigoso, inerte, desde que eventuais danos do elemento de estanqueidade não impliquem em risco de impacto ambiental significativo.

6.6.1.3 O dispositivo de estanqueidade composto consiste na combinação de um elemento de estanqueidade ativo, ou seja, uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), acoplado a pelo menos um elemento de estanqueidade passivo, por exemplo uma camada de solo argiloso compactado com condutividade hidráulica controlada (ver Figura 6.3b). Esta é a condição mínima a ser empregada para resíduos Classe II (ver NBR 10004) e sempre que houver percolação de lixiviado, mesmo que proveniente da infiltração de águas pluviais.

Para que o conjunto barreira geossintética polimérica (geomembrana) mais solo compactado seja considerado composto é necessário que os dois elementos estejam em contato íntimo e uniforme em toda a superfície, de modo que não possa haver fluxo na interface entre os elementos, reduzindo a probabilidade de que o fluxo por um eventual furo ou dano da geomembrana encontre uma fissura da camada argilosa.

A execução de um dispositivo de estanqueidade composto exige procedimentos de instalação bastante elaborados e atendimento a fortes restrições, como por exemplo, colocação da geomembrana sem dobras ou ondas.

Em alguns casos os projetistas têm optado por combinar três elementos: uma barreira geossintética polimérica (geomembrana), atuando como elemento ativo, tendo como elementos passivos uma barreira geossintética argilosa (GCL) associada a uma camada de solo argiloso compactado.

Neste caso a barreira geossintética argilosa (GCL) tem o papel de impedir o fluxo na interface, por sua característica de expansão, ou de substituir parte da camada de solo argiloso. Considerando-se a experiência atual, ainda não é recomendável que a barreira geossintética argilosa (GCL) substitua inteiramente a camada de argila compactada nos casos onde um dispositivo composto é necessário.

6.6.1.4 O dispositivo de estanqueidade duplo consiste na superposição de pelo menos dois elementos de estanqueidade ativa, ou seja, duas barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas), com um dreno testemunho entre estes elementos, sendo que pelo menos o elemento de estanqueidade ativa inferior deve estar acoplado a um elemento de estanqueidade passiva. Este tipo de dispositivo é o indicado para o caso de resíduos Classe I (perigosos) (ver Figura 6.3c).

Deste modo, considerando a sequência a partir da interface com o resíduo, pode ser duplo com fundo composto (geomembrana + dreno + geomembrana/argila compactada) ou ser duplamente composto (geomembrana/argila compactada + dreno + geomembrana/argila compactada ou geomembrana/GCL + dreno + geomembrana/GCL/argila compactada), por exemplo.

Num dreno testemunho (ver 3.1.7) o tempo necessário para o lixiviado atingir o poço de controle deve ser avaliado considerando o conjunto dos elementos componentes do dreno na condição não saturada. O elemento de drenagem e o(s) elemento(s) de proteção da geomembrana devem ser selecionados em função de um comportamento do tipo “hidrofóbico” em relação ao lixiviado. Por exemplo, drenos em areia geralmente tem comportamento hidrofílico em relação ao lixiviado, implicando em tempo de percurso até o poço de inspeção geralmente inviável para sua utilização como elemento de drenagem em um dreno testemunho.

6.6.1.5 Cuidados Especiais

Devem ser evitadas solicitações em tração e ao puncionamento atuando no dispositivo de estanqueidade do sistema de revestimento de fundo, e

dispositivos de proteção mecânica devem ser considerados sempre que se fizer necessário.

A parte do sistema de revestimento de fundo a ser instalada em taludes deve ser concebida considerando as características de atrito e o comportamento em tração dos componentes. Para evitar solicitação de tração no elemento de estanqueidade (geomembrana), sua face superior deve ser o mais lisa possível e a face inferior, caso seja texturizada, deve ter textura adequada a do substrato que a suporta. A solicitação em tração atuando sobre o dispositivo de estanqueidade pode ser reduzida pela colocação de um dispositivo de proteção superior (DPS) que absorva esta solicitação, sem transmiti-la para a geomembrana (ver 6.8).

6.6.2 Dispositivo de estanqueidade de cobertura (DEC) – Tipos e cuidados especiais

6.6.2.1 Os dispositivos de estanqueidade para sistemas de revestimento de cobertura são escolhidos em função da periculosidade do resíduo, da geração de biogás e de seu eventual aproveitamento, e das condições locais. Eles são geralmente dispositivos simples contendo um único elemento (solo argiloso compactado ou barreira geossintética).

6.6.2.2 Cuidados especiais

O item 6.3.3 apresenta uma série de cuidados a serem considerados na concepção dos sistemas de cobertura e que afetam seu dispositivo de estanqueidade.

A escolha do elemento de barreira deve considerar as solicitações físico-químicas e mecânicas à que o dispositivo estará submetido durante sua vida de serviço, considerando também os esforços de tração devido às deformações da massa de resíduo disposto.

Dispositivos de proteção (DPS ou DPI) trabalhando à rigidez podem atuar uniformizando as deformações da massa de resíduo, reduzindo recalques diferenciais, solicitações mecânicas e melhorando a eficiência dos dispositivos de drenagem.

Quando o elemento de estanqueidade da cobertura estiver em contato com gases é preciso considerar sua eventual condensação e a possibilidade de mudança do comportamento em atrito nesta superfície.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)[COMPOSICÃO »](#)[AS APLICACÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

6.7 Concepção e escolha dos dispositivos de drenagem (DDA, DDL e DDG)

6.7.1 Tipos e composição

Os dispositivos de drenagem são classificados em função do tipo de fluido a coletar e conduzir (ver 3.1.3) sendo compostos basicamente por um elemento de dreno e elementos de filtro.

Um elemento de filtro deve ser considerado em todas as faces em contato com o meio particulado. O elemento de filtro tem por objetivo reduzir processos erosivos do meio adjacente e reduzir processos de colmatação do elemento drenante.

O elemento drenante geossintético pode ser um tubo polimérico, uma georrede ou um geoespaçador e sua escolha está relacionada às solicitações mecânicas, hidráulicas e físico-químicas dos meios adjacentes e do fluido a coletar e conduzir. O elemento filtrante geralmente é um geotêxtil.

Geocompostos drenantes com elementos de filtro e geotêxteis não tecidos agulhados espessos podem atender simultaneamente as duas funções.

6.7.2 Cuidados especiais

Os elementos de dreno precisam ter suas características mecânicas e hidráulicas avaliadas em função das condições de solicitação (tensões normais, tração, vazão a conduzir, entre outras). No caso das solicitações em tração ou punção, dispositivos de proteção (ver 6.8.2) podem ser considerados quando for necessário reduzi-las.

Na avaliação da capacidade de fluxo deve ser considerada não só a

deformabilidade sob carga normal, mas o comportamento em fluência à compressão e, quando pertinente, ao cisalhamento, bem como a redução da capacidade prevista para os processos de colmatação física, química e biológica.

No caso dos elementos de filtro além de sua resistência às solicitações mecânicas, sua abertura de filtração, a porcentagem de área aberta (para geotêxteis tecidos) e as características de permeabilidade devem ser avaliados, inclusive considerando o processo de colmatação biológica inevitável em resíduos com presença significativa de matéria orgânica.

No caso de atividade orgânica relevante, geralmente o projetista opta por um filtro em geotêxtil tecido bastante aberto, de modo a criar um meio inóspito à formação do biofilme, e considera um elemento drenante com capacidade de fluxo majorada para compensar a colmatação devido a passagem de partículas que atravessarão a estrutura do filtro.

O risco de filtração de partículas em suspensão deve ser cuidadosamente avaliado e a concepção de projeto deve evitá-lo, sempre que possível. Nos casos onde isto não for possível, a manutenção ou troca do filtro devem estar consideradas na concepção do dispositivo drenante, com eventual monitoramento para indicação da necessidade de intervenção.

Em resíduos cuja estrutura apresente risco de sufusão (ver 4.3) este aspecto deve ser criteriosamente observado, devendo ser avaliada a possibilidade de uma concepção que permita a troca ou manutenção do filtro.

6.8 Concepção e escolha dos dispositivos de proteção (DPS e DPI)

6.8.1 Tipos e composição

Os dispositivos de proteção mecânica são classificados de acordo com sua posição em relação ao dispositivo a proteger (ver 3.1.6), sendo compostos basicamente por elementos capazes de reduzir as solicitações mecânicas atuando sobre o dispositivo.

Os geossintéticos considerados para este dispositivo são os geotêxteis, tecidos ou não tecidos, as geogrelhas, as geocélulas ou geocompostos específicos para esta finalidade. Um dispositivo de proteção pode ser composto por vários geossintéticos, cada um atendendo a uma determinada necessidade.

6.8.2 Cuidados especiais

Na redução das solicitações em tração, geossintéticos de elevada rigidez (geogrelhas e geotêxteis tecidos) são geralmente empregados, sendo essencial avaliar o comportamento em deformação sob a solicitação prevista.

Na absorção das solicitações de punção, geotêxteis não tecidos que proporcionem proteção adequada deve ser empregados. É importante que o geotêxtil de proteção seja capaz de absorver cargas pontuais, sem transmitir a deformação para o elemento de barreira.

Elementos de proteção de barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) devem ter um detector de metais associado ao processo de controle de qualidade industrial, para evitar que elementos perfurantes como agulhas quebradas ou outros elementos metálicos possam danificar a geomembrana.

6.9 Concepção e escolha dos dispositivos de controle de erosão superficial (DCE)

6.9.1 Tipos e composição

Os dispositivos de controle de erosão superficial (DCE) (ver 3.1.3) tem a função de evitar processos erosivos de superfície em camadas de cobertura e sistemas drenantes de superfície, reduzindo a desagregação das partículas pelo impacto das gotas de chuva e pelas solicitações causadas pelo fluxo de água ou ação do vento, até que a vegetação se estabeleça.

Os geossintéticos considerados para este dispositivo são as geomantas e biomantas, os geotêxteis, as geocélulas ou geocompostos específicos para esta finalidade.

Geomantas e biomantas tem a função específica de controle de erosão superficial durante o processo de vegetação da superfície protegida e ficam incorporados à vegetação de cobertura. Os geotêxteis costumam ser empregados como proteção ao impacto das gotas de chuva ou fluxo superficial em soluções temporárias. As geocélulas podem ser empregadas como elementos de confinamento de solo orgânico ou composto vegetal, em regiões que precisam de proteção especial para o crescimento da vegetação, ou confinando elementos granulares ou argamassa de concreto em sistemas de drenagem superficial.

6.9.2 Cuidados especiais

Os dispositivos de controle de erosão superficial devem ser escolhidos em função da erodibilidade do solo, da inclinação da cobertura, características meteorológicas locais, da intensidade de fluxo previsto, de sua capacidade de acompanhar as deformações da camada de cobertura e do tempo de serviço estimado (tempo para crescimento da vegetação, por exemplo).

No caso de emprego de geocélulas é sempre recomendável que um geotêxtil com a função de filtração seja colocado sob a geocélula, e que sua capacidade de reter o material a confinar e de permitir o fluxo por seus elementos (quando houver) seja avaliada.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)[COMPOSICÃO »](#)[AS APLICACÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

7 AS DIVERSAS APLICAÇÕES

[SUMÁRIO GERAL »](#)

7.1 Disposição de resíduos sólidos

7.2 Disposição de resíduos líquidos

7.3 Disposição de resíduos semi-sólidos

7.1 Disposição de resíduos sólidos

7.1.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos sólidos (ADRS) devem ter protegidas todas as interfaces com o meio ambiente, de modo que estas áreas sempre apresentam um Sistema de Revestimento de Fundo (SRF), em toda interface com o meio que delimita a área de disposição (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral) e um Sistema de Revestimento de Cobertura (SRC) em toda a interface com o ar.

Sistemas de drenagem interna (SDI) devem estar presentes quando líquidos ou gases, gerados pelo resíduo ou advindos da fase de operação (p.ex. a infiltração de água de chuva), puderem implicar acúmulo localizado (bolsões de gas ou líquido).

No caso de resíduos perigosos a disposição é geralmente em vala coberta durante toda a fase de operação para evitar a penetração da água de chuva e um dispositivo de drenagem de lixiviado (DDL) é necessário no sistema de revestimento de fundo sempre que o resíduo tiver teor de umidade capaz de gerar lixiviado por adensamento.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação, em especial as recomendações do item 6.6.

A Figura 7.1 apresenta esquemas de alguns casos de disposição de resíduos sólidos após encerramento.

7.1.2 Componentes

Os geossintéticos podem estar presentes nos diversos componentes dos sistemas de revestimento e de drenagem, atuando nas funções de barreira, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosão superficial. Os elementos atendendo a função de filtração podem ter como função secundária a separação, principalmente durante a fase de construção.



Figura 7.1 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos sólidos (ADRS).

As Figuras 7.2 e 7.3 apresentam exemplos esquemáticos de seções de áreas de disposição de resíduos sólidos após encerramento. A primeira se refere a um exemplo de disposição de resíduos sólidos urbanos, que não tem sistemas de drenagem interna horizontais, e a segunda à disposição de um resíduo classe I que não tem geração de gases. Os elementos apresentados nestas figuras são apenas exemplo de possíveis elementos que poderiam ser empregados.

O Quadro 7.1 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos sólidos após seu encerramento, considerando sua localização do topo para a base, na condição mais abrangente. Os diversos componentes deverão ser indicados em função das necessidades advindas do tipo de resíduo e de suas peculiaridades (periculosidade, existência de matéria orgânica, comportamento mecânico, teor de umidade, entre outros).

NOTA Os possíveis elementos constituintes dos dispositivos estão apresentados e discutidos no item 6. No caso dos dispositivos de drenagem, estão indicados os elementos atendendo as funções de filtração e de drenagem para que não haja o risco dos elementos de filtração serem esquecidos.

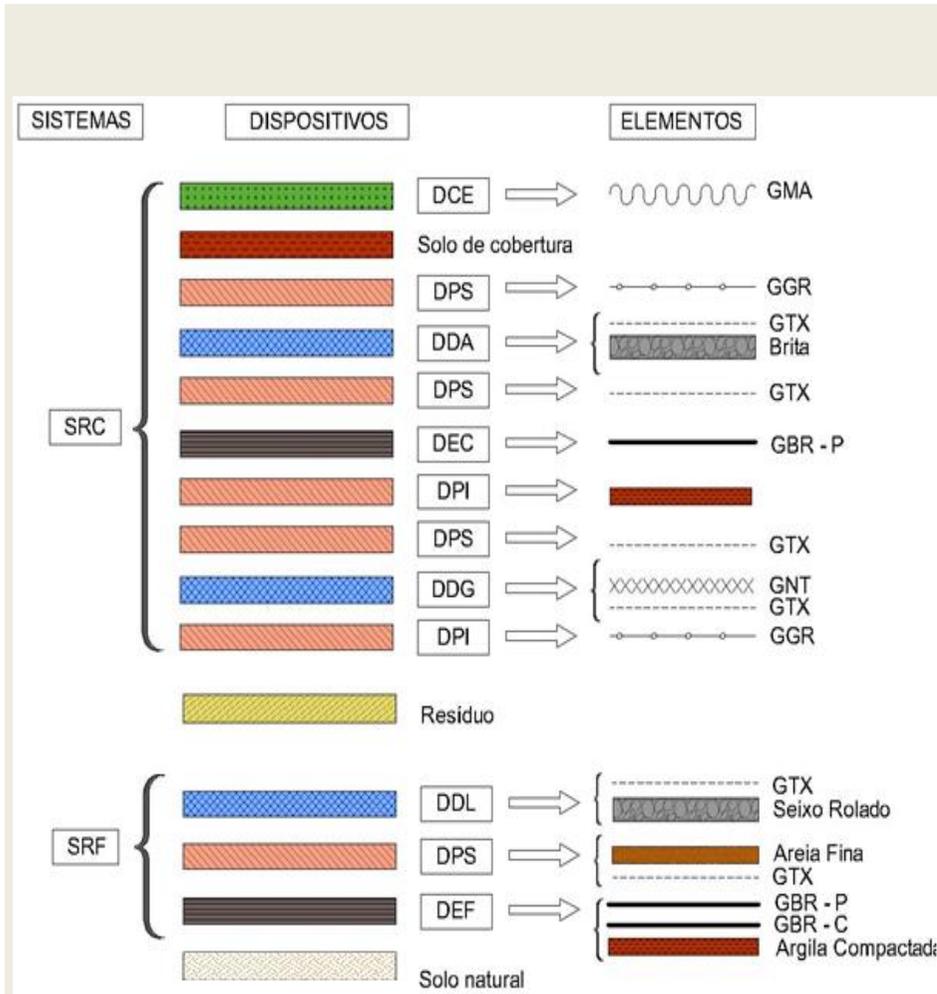


Figura 7.2 – Exemplo esquemático de seção de área de disposição de resíduos sólidos urbanos após encerramento.

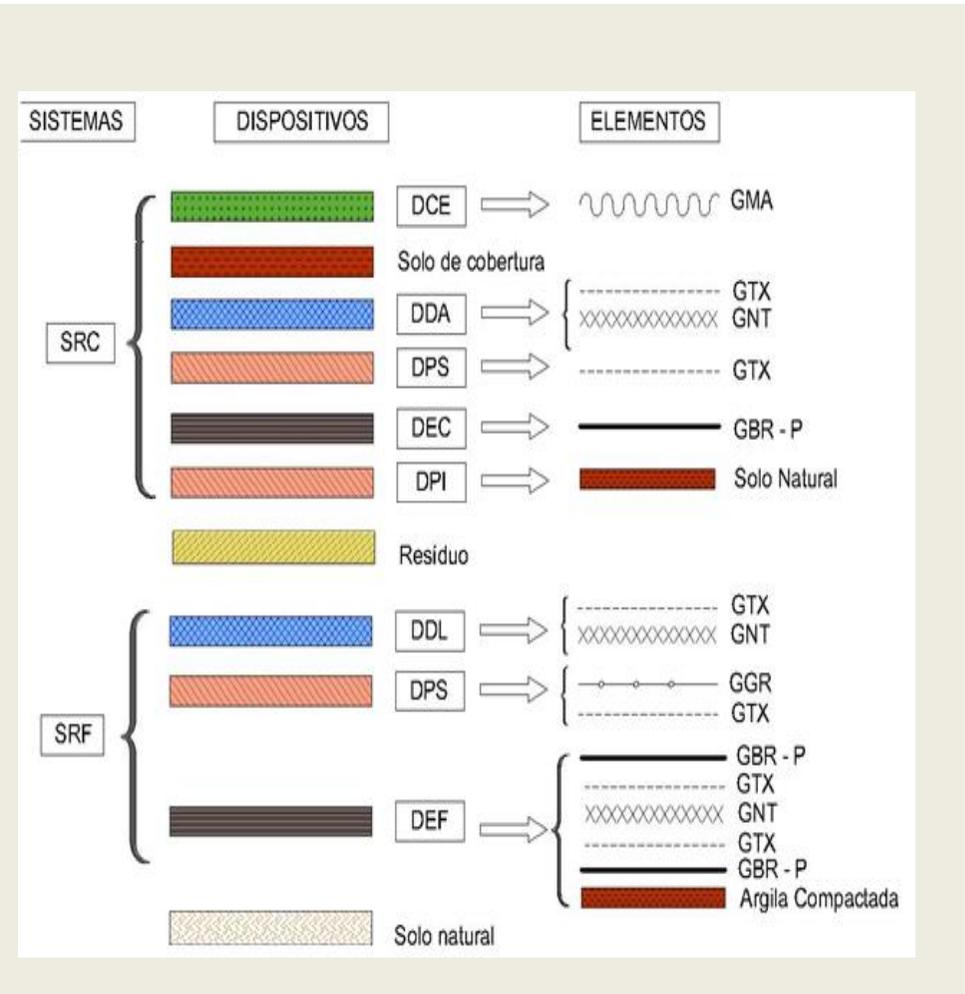


Figura 7.3 – Exemplo esquemático de seção de área de disposição de resíduo Classe I com dispositivo de estanqueidade duplo com fundo composto.

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

Quadro 7.1 Componentes de uma área de disposição de resíduos sólidos após encerramento, em função de sua localização.

Localização	Dispositivos		Função/elemento	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial	Evitar o carreamento de partículas geradoras de processos erosivos
Solo de cobertura				
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DDA	Proteção	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica do dispositivo de drenagem de águas pluviais
	DDA	Drenagem pluvial	Filtração	Retenção das partículas do solo de cobertura no caso de DPS em material particulado
			Drenagem	Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
			Filtração	Separação e retenção de partículas no caso de DPI em material particulado
	DPI	Proteção do DDA	Proteção	Proteção mecânica do dispositivo de drenagem pluvial (evitar escorregamentos p.ex)
	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás
	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento (uniformização de recalques na ausência do DDG e sua proteção)
	DPS	Proteção do DDG	Proteção	Separação, absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento (podendo ser assegurado em parte ou no total pela estrutura de proteção do DEC)
	DDG	Drenagem do biogás	Drenagem	Coleta e drenagem dos gases gerados sob o DEC quando o resíduo contiver matéria orgânica
Filtração			Retenção eventual das partículas carregadas pelo gás	
DPI	Proteção do DDG	Proteção	Uniformização dos recalques, absorção de outras solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento	
Resíduos				
Sistemas de drenagem intermediária (SDI)	DPS	Proteção do DDG/DDL	Proteção	Absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDG/DDL	Drenagem de lixiviado e gás, horizontal ou vertical	Filtração	Retenção de partículas carregadas pelo gás ou lixiviado
			Drenagem	Coleta e drenagem dos gases e lixiviados gerados pelo resíduo do entorno
			Filtração	Retenção de partículas carregadas pelo gás ou lixiviado
DPI	Proteção do DDG/DDL	Proteção	Uniformização dos recalques, absorção de outras solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento	
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DDL	Proteção	Absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDL	Drenagem do lixiviado	Filtração	Retenção das partículas carregadas pelo lixiviado
			Drenagem	Coleta e condução do lixiviado(ver 5.4.1.3)
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado (ver 6.6.1)
DPI	Proteção e reforço do DEF	Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento	
Solo natural				

*O dispositivo de estanqueidade de fundo deve ser no mínimo composto, no caso de resíduo Classe II ou III, e duplo com fundo composto para Classe I.

Quando houver a superposição de um dispositivo de proteção inferior (DPI) de um componente, e de um dispositivo de proteção superior (DPS) de outro componente, pode-se ter dispositivos distintos para cada componente ou um dispositivo único capaz de atender as necessidades de ambos os componentes.

7.2 Disposição de resíduos líquidos

7.2.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos líquidos (ADRL) devem ter sistemas de revestimento protegendo todas as interfaces nas quais haja a possibilidade de contato dos resíduos com a fundação do reservatório (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral). Um sistema de revestimento de cobertura na interface com o ar pode ser incorporado conforme necessidade do projeto. A Figura 7.4 apresenta esquemas de alguns casos de disposição de resíduos líquidos.

É importante lembrar que toda a superfície de geossintético exposta à radiação solar implicará em redução de sua vida de serviço em função da degradação por raios UV, e o geossintético exposto deve ter sua resistência à degradação avaliada pelo fabricante por ensaios acelerados em laboratório conforme preconiza a ISO TS 14343 (ver Recomendação IGSBrasil 002, partes 1 e 2).

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.

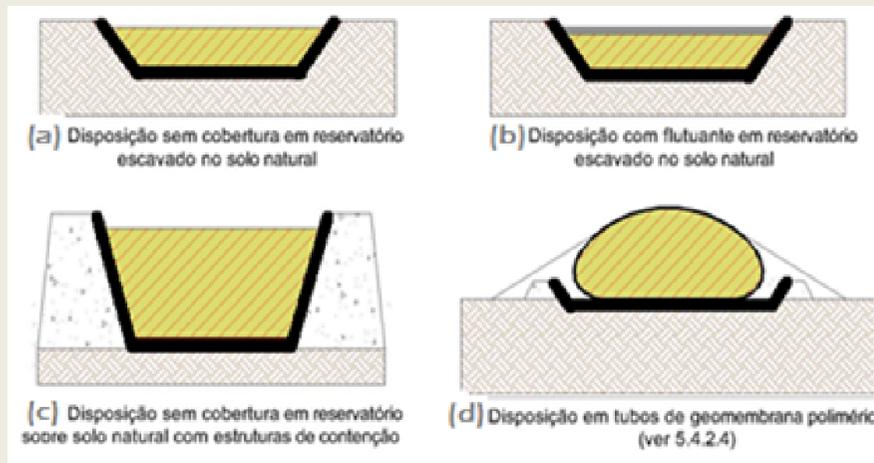


Figura 7.4 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos líquidos (ADRL).

7.2.2 Componentes para disposição em reservatório

Os geossintéticos podem estar presentes nos diversos componentes destes sistemas, atuando nas funções de barreira, proteção, filtração, drenagem e reforço.

O Quadro 7.2 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos líquidos, considerando sua localização do topo para a base, na condição mais abrangente. Os diversos componentes deverão ser indicados em função do tipo de resíduo e de suas peculiaridades. Quando houver a superposição de um dispositivo de proteção inferior (DPI) de um componente e de um dispositivo de proteção superior (DPS) de outro componente, pode-se ter dispositivos distintos para cada componente ou um dispositivo único capaz de atender as necessidades de ambos os componentes.

Quadro 7.2 Componentes de uma área de disposição de resíduos líquidos, em função de sua localização

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás
	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado (ver 6.6.1)
	DPI	Proteção e reforço do DEF	Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento
Solo natural				

7.2.3 Componentes para disposição em tubos ou bolsas

A disposição de resíduos líquidos em Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCR), na forma de bolsas ou tubos produzidos a partir de barreiras poliméricas soldadas, exige geralmente que a barreira seja reforçada no processo de fabricação ou que um geossintético de reforço (geotêxtil tecido ou geogrelha)

envolva a estrutura e limite suas deformações. Um SCR representa um sistema de revestimento contínuo incorporando cobertura e fundo.

Um sistema de revestimento de fundo capaz de conter eventuais vazamentos, ou até mesmo todo o volume armazenado para resíduos de maior periculosidade, deve sempre ser previsto na interface com o solo, lembrando

que o volume de fluido previsto deve também considerar a contribuição da chuva na área de disposição (ver item 6.5.3), o que pode exigir sua conexão com um reservatório de resíduos líquidos que contenha o fluido até sua análise e disposição final.

Os cuidados com a estabilidade do conjunto devem seguir o discutido no item 7.3.4.

7.3 Disposição de resíduos semi-sólidos

7.3.1 Introdução

Os resíduos semi-sólidos quando simplesmente armazenados podem ser dispostos como os resíduos líquidos (item 7.2), sendo esta situação considerada apenas como disposição temporária. No caso de tratamento ou aproveitamento do resíduo semi-sólido duas formas de disposição merecem atenção especial: a disposição para desaguamento e a disposição para contenção e coleta de biogás.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.

7.3.2 Disposição para coleta de biogás

7.3.2.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos semi-sólidos com alto teor de matéria orgânica com vista a coletar o biogás produzido pela decomposição dos dejetos devem ter sistemas de revestimento protegendo todas as interfaces com o meio ambiente durante toda sua operação. Deste modo, estas áreas sempre apresentam um sistema de revestimento de fundo em toda interface com o meio que delimita a área de disposição (solo ou estrutura de fundação e contenção lateral) e um sistema de revestimento de cobertura em toda a interface com o ar. A Figura 7.5 apresenta o esquema mais frequentemente empregado.

7.3.2.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira e proteção. O Quadro 7.3 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para coleta do biogás, considerando sua localização do topo para a base, na condição mais abrangente, lembrando que os diversos componentes deverão ser indicados em função das necessidades do projeto.

7.3.2.3 Cuidados especiais com o revestimento de cobertura

É recomendável que a barreira geossintética polimérica (geomembrana) do

dispositivo de estanqueidade de cobertura tenha a face externa clara (preferencialmente branca) a fim de refletir parte da radiação solar evitando o aquecimento excessivo do resíduo disposto. Ela deve também ser suficientemente resistente para suportar a pressão imposta pelo biogás produzido e atender aos requisitos de elasticidade associados à concepção adotada. Como o dispositivo de estanqueidade da cobertura geralmente não recebe um dispositivo de proteção em toda sua superfície, ele está continuamente exposto à radiação UV, o que vai implicar em redução de sua vida de serviço por este tipo de degradação e o geossintético exposto deve ter sua resistência à degradação avaliada pelo fabricante por ensaios acelerados em laboratório conforme preconiza a ISO TS 14434 (ver IGSBrasil 002, parte 2).

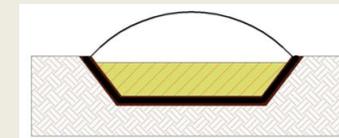


Figura 7.5 Exemplo esquemático da disposição de resíduos semi-sólidos para coleta de biogás.

Quadro 7.3 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para coleta de biogás.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
Sistema de revestimento de cobertura (SRC)	DPS	Proteção do DEC	Reforço	Elementos geralmente lineares para limitar as deformações
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva e ao biogás (ver 5.4.3.2.3)
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF)	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado (ver 6.6.1)
(base e taludes)	DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento
Solo natural				

7.3.3 Disposição em lagoas de drenagem para desaguamento

7.3.3.1 Aspectos gerais da concepção

As áreas de disposição de resíduos semi-sólidos com vistas ao desaguamento destes resíduos em lagoas de drenagem devem ter sistemas de revestimento de fundo protegendo o solo de fundação ou os elementos de contenção que venham a estar em contato com o solo. Os resíduos podem ser dispostos nestas áreas de modo permanente ou retirados após desaguamento para disposição em áreas de resíduos sólidos ou aproveitamento em função de sua periculosidade. Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação. A Figura 7.6 apresenta esquemas de disposição neste caso.

7.3.3.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira, proteção, filtração e drenagem. O Quadro 7.4 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento, considerando sua localização do topo para a base, na condição mais abrangente, lembrando que os diversos componentes deverão ser indicados em função das necessidades do projeto.

7.3.4 Disposição em tubos e bolsas para desaguamento

7.3.4.1 Aspectos gerais da concepção

A disposição de resíduos semi-sólidos em Sistemas de Confinamento dos Resíduos (SCR), na forma de bolsas ou tubos produzidos a partir de geotêxteis costurados, representa um sistema de confinamento permeável e contínuo facilitando o desaguamento em toda interface com o meio ambiente e minimizando a infiltração de água de chuva.

Técnicas de tratamento simultâneas ao processo de bombeamento do resíduo para o tubo ou bolsa, ou até mesmo características específicas das partículas retidas permitem que o conjunto atue como um Sistema Fechado, com a qualidade do efluente controlada. Mesmo nos casos nos quais a opção seja permitir a passagem de alguns contaminantes, o efluente é facilmente coletado e conduzido para o sistema de tratamento mais apropriado. Este tipo de disposição representa proteção ambiental suplementar pois os contaminantes ficam confinados no sistema, reduzindo os riscos relacionados à disposição em lagoas de drenagem.



(a) Disposição temporária

(b) Disposição permanente após encerramento

Figura 7.6 Exemplos esquemático da disposição de resíduos semi-sólidos em lagoas de drenagem.

Quadro 7.4 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em lagoas de drenagem.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial	Evitar o carreamento de partículas gerador de processos erosivos que possam implicar em danos ou instabilização da cobertura
Solo de cobertura				
Sistema de revestimento de cobertura (SRC) em áreas de disposição permanente	DPS	Proteção do DDA	Proteção	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica da estrutura de filtração e drenagem
			Filtração	Retenção das partículas do solo de cobertura
			Drenagem	Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
	DDA	Drenagem pluvial	Filtração	Retenção de partículas para DPI granular
			Proteção	Separação e proteção mecânica da estrutura de drenagem
			Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
DPI	Proteção do DDP	Proteção	Separação e proteção mecânica da estrutura de drenagem	
DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento	
DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva	
DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e	
Resíduos				
Sistemas de drenagem intermediária (SDI)	DDL	Drenagem interna de lixiviado	Filtração	Retenção de partículas
			Drenagem	Coleta e condução do fluido presente no resíduo
			Filtração	Retenção de partículas
Resíduos				
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
			Filtração	Retenção de partículas
	DDL	Drenagem do lixiviado	Drenagem	Coleta e condução do lixiviado
			Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado	
DPI	Proteção do DEF	Reforço/Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento	
Solo natural				

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV. RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)

[COMPOSIÇÃO »](#)

[AS APLICAÇÕES »](#)

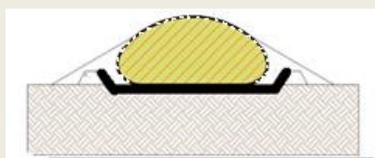
[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

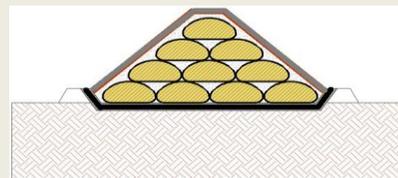
Um sistema de revestimento de fundo capaz de coletar e conduzir o efluente deve sempre ser previsto na interface com o solo, lembrando que o volume de fluido previsto deve também considerar a contribuição da chuva na área de disposição, o que pode exigir que este sistema esteja conectado com um reservatório de resíduos líquidos que contenha o fluido até sua análise e disposição final.

Os resíduos podem ser dispostos nestas áreas de modo permanente ou retirados após desaguamento para disposição em áreas de resíduos sólidos ou aproveitamento em função de sua periculosidade. A superposição de tubos ou bolsas no caso de disposição permanente é muitas vezes realizada e neste caso o sistema de confinamento deve ser dimensionado de forma a suportar as solicitações advindas da sobrecarga imposta. A Figura 7.7 apresenta esquemas de alguns dos modos de disposição mais frequentemente empregados.

Qualquer que seja a situação, os aspectos e cuidados discutidos no item 6 devem ser criteriosamente observados no projeto e sua implantação.



(a) Disposição em tubo isolado



(b) disposição em tubos superpostos após encerramento

Figura 7.7 Exemplos esquemáticos de modos de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em tubos ou bolsas.

7.3.3.2 Componentes

Os geossintéticos estão presentes nos componentes destes sistemas atuando nas funções de barreira, proteção, reforço, filtração e drenagem. O Quadro 7.5 resume o conjunto dos sistemas e dispositivos que podem ser encontrados em áreas de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em tubos ou bolsas, considerando sua localização do topo para a base, na condição mais abrangente, lembrando que os diversos componentes deverão ser indicados em função das necessidades do projeto.

7.3.3.3 Cuidados com a estabilidade do sistema de confinamento

O sistema de confinamento de resíduos deve ser posicionado sobre uma base nivelada para evitar movimentos de rotação ou translação do tubo ou bolsa.

Alças laterais ou faixas de fixação, ancoradas na zona externa ao sistema de revestimento de fundo, costumam ser empregadas para auxiliar a estabilidade no início do enchimento e evitar efeitos do vento.. Estes elementos de fixação são afrouxados a medida que o resíduo introduzido no sistema de confinamento atinge massa suficiente para garantir esta estabilidade. Após o primeiro ciclo de enchimento as alças ou faixas podem ser afrouxadas para não interferir no enchimento. Módulos contíguos podem ser fixados entre si.

Quadro 7.5 Componentes de uma área de disposição de resíduos semi-sólidos para desaguamento em tubos ou bolsas.

Localização	Dispositivos		Função	Objetivo
superfície	DCE	Controle de erosão	Controle de erosão superficial	Evitar o carreamento de partículas gerador de processos erosivos que possam implicar em danos ou instabilização da cobertura
Solo de cobertura				
Sistema de revestimento de cobertura (SRC) em áreas de disposição permanente	DPS	Proteção do DDP	Proteção	Estabilização do solo de cobertura e proteção mecânica da estrutura de filtração e drenagem
	DDA	Drenagem pluvial	Filtração	Retenção das partículas do solo de cobertura
			Drenagem	Coleta e drenagem das águas infiltrando acima do dispositivo de estanqueidade
	DPI	Proteção do DDP	Proteção	Separação e proteção mecânica da estrutura de drenagem
	DPS	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEC	Estanqueidade da cobertura	Barreira	Estanqueidade à água de chuva
Sistema de confinamento do resíduo (SCR)	DPI	Proteção do DEC	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e
	DPS	Proteção do DDL	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas
	DDL	Drenagem do efluente	Filtração	Retenção das partículas deixando passar o efluente sob pressão ou em evaporação, mas evitando a infiltração de águas pluviais (por exemplo com um geotêxtil hidrofóbico)
Drenagem			Coleta e condução do efluente ou evaporado	
Resíduos				
Sistema de confinamento do resíduo (SCR)	DDL	Drenagem do efluente	Drenagem	Coleta e condução do efluente ou evaporado
			Filtração	Retenção das partículas deixando passar o efluente sob pressão ou em evaporação, mas evitando a infiltração de águas pluviais (por exemplo com um geotêxtil hidrofóbico)
	DPS	Proteção do DDL	Reforço	Absorção das solicitações mecânicas
Sistema de revestimento de fundo (SRF) (base e taludes)	DPS	Proteção do DDL	Proteção	absorção de solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DDL	Drenagem do fluido	Drenagem	Coleta e condução do efluente e águas pluviais
	DPI	Proteção do DDL	Proteção	Separação e proteção mecânica
	DPS	Proteção do DEF	Proteção	Absorção das solicitações mecânicas e proteção anti-puncionamento
	DEF	Estanqueidade de fundo	Barreira	Estanqueidade ao lixiviado
	DPI	Proteção do DEF	Proteção	Uniformização de recalques e proteção antipuncionamento
Solo natural				

8 PRINCIPIO GERAIS DE DIMENSIONAMENTO DOS GEOSSINTÉTICOS

[SUMÁRIO GERAL »](#)

8.1 Introdução

8.2 Ensaio de caracterização dos geossintéticos

8.3 Princípio da seleção do geossintético por função

8.4 Métodos de dimensionamento

8.1 Introdução

Este item tem por objetivo discutir os aspectos mais relevantes do dimensionamento e especificação dos geossintéticos, sem discutir os métodos de dimensionamento a serem adotados, cuja escolha é de inteira responsabilidade do projetista.

A utilização de um material com controle de qualidade industrial, uma grande versatilidade no processo de fabricação e um comportamento de curto e longo prazo avaliado, permite ao projetista considerar no dimensionamento um material com propriedades bem definidas e garantidas pelo fabricante, condição difícil de ser conseguida com material natural.

Em projetos com geossintéticos, o projetista pode selecionar os produtos que melhor atendem as propriedades requeridas estabelecidas ou adotadas no método de dimensionamento escolhido. Entretanto, a vantagem da garantia de qualidade industrial só pode ser plenamente atendida se a Especificação de Projeto (ver Recomendação IGSBrasil 003 2014) contemplar todos os aspectos

necessários para que a seleção dos produtos seja eficiente e que o controle de qualidade do produto recebido e da obra sejam efetivos.

Ao estabelecer as propriedades a serem atendidas pelos geossintéticos atuando no projeto, o projetista precisa considerar não apenas o comportamento de curto prazo mas as alterações no comportamento durante a fase de instalação, de operação e encerramento (por exemplo danos de instalação, comportamento sob carga constante – fluência em tração, compressão ou cisalhamento) e os processos de degradação que podem afetar o comportamento ao longo do tempo.

O comportamento do geossintético durante sua Vida de Serviço pode ser afetado por solicitações físicas, mecânicas, hidráulicas, químicas, biológicas e climáticas. Avaliar durante o dimensionamento as condições passíveis de interferir no comportamento do geossintético a longo prazo e indicá-las corretamente na Especificação de Projeto é o pilar de uma obra de qualidade.

8.2 Ensaio de caracterização dos geossintéticos

8.2.1 Tipos de ensaio

Os ensaios para caracterização dos geossintéticos se dividem em dois grandes grupos: ensaios para determinação das propriedades índice (também chamadas propriedades características) e ensaio de desempenho sob condições específicas.

O primeiro grupo tem por objetivo a caracterização dos produtos de modo geral, sem considerar as peculiaridades inerentes a um determinado projeto. O segundo grupo tem por objetivo avaliar o comportamento a curto e longo prazo, sob solicitações específicas de campo.

8.2.2 Ensaio índice ou de caracterização do produto

Os ensaios índice (ou de caracterização de produto) devem atender a padrões

bem definidos e portanto devem sempre ser executados de acordo com normas estabelecidas. Eles são ensaios que caracterizam o produto industrializado, permitindo controlar e garantir a qualidade do produto.

A Recomendação IGSBrasil 002 – Requisitos para o emprego dos geossintéticos, publicada pela IGSBrasil em 2014 e dividida em Parte 1 – Geotêxteis e produtos correlatos e Parte 2 – Barreiras geossintéticas, indica as características de controle – para as quais o fabricante deve dar garantia de valor máximo e/ou mínimo, e as características relevantes para a aplicação em obras de disposição de resíduos sólidos e líquidos, para as quais o fabricante deve disponibilizar os parâmetros resultantes dos ensaios padrão.

A Recomendação IGSBrasil 002 estabelece quais devem ser as normas de ensaio a serem empregadas e o modo de apresentar os resultados. Ela também discute detalhadamente todo o procedimento para o controle de qualidade de fabricação e o conteúdo mínimo do Certificado de Qualidade de Fabricação (CQF) que deve acompanhar o produto fornecido.

8.2.3 Ensaio de desempenho sob condições específicas

Os ensaios de desempenho sob condições específicas visam avaliar o comportamento do produto sob uma condição específica de projeto, como

por exemplo, o atrito de interface entre produtos ou entre um produto e o solo da obra, ou a susceptibilidade e intensidade do ataque químico por um composto específico do rejeito a ser disposto. Os ensaios, realizados em campo ou em laboratório, devem atender normas existentes, como por exemplo as sugeridas pela ISO TS 13434 para avaliação da durabilidade, ou a processos estabelecidos pelo projetista, como por exemplo no caso da avaliação em campo dos danos causados durante a instalação.

8.3 Princípio da seleção do geossintético por função

Para estabelecer as propriedades que cada elemento geossintético atuando numa obra de disposição de resíduos deve apresentar, o projetista inicia o dimensionamento fazendo a análise da(s) função (ões) a serem desempenhadas pelo elemento geossintético relacionada(s) à concepção adotada.

A partir das funções a serem desempenhadas por cada componente geossintético, as propriedades requeridas são definidas pelo projetista com base no método de dimensionamento adotado, tendo em vista o atendimento às solicitações consideradas. É importante considerar na especificação os aspectos relacionados às Recomendações IGSBrasil 002, Partes 1 e 2, tais como a exigência de Certificado de Qualidade que atenda a função e a aplicação e a Recomendação IGSBrasil 003.

Três tipos de exigência deverão ser avaliados:

- as exigências específicas da função a desempenhar - indicando as propriedades avaliadas pelo método de dimensionamento para atender à função,
- as exigências relacionadas à instalação - indicando as características

mínimas/máximas do geossintético de modo que, por mais severo que seja o processo estabelecido para a instalação, o produto instalado em obra possa atender as exigências específicas da função;

- as exigências relacionadas à durabilidade - indicando as características mínimas de desempenho em ensaios de durabilidade para que o produto possa atender a longo prazo as exigências específicas da função.

Para ilustrar, podemos citar o caso de geossintético atendendo a função filtração. Neste caso, um produto pode ter indicados, por exemplo:

- como exigências da função - a abertura de filtração característica e a permeabilidade normal ao plano, dadas pelos critérios de retenção, colmatação e permeabilidade adotados;
- como exigências relacionadas à instalação - as resistências à tração, à penetração e à perfuração;
- como exigências relacionadas à durabilidade - uma resistência à tração retida maior ou igual a 50% da resistência à tração do produto virgem, após a exposição aos raios UV e exposição ao ataque químico (ver ISO TS 13434).

8.4 Métodos de dimensionamento

Os métodos de dimensionamento a serem considerados estão disponíveis na literatura. Ao escolher um determinado método de dimensionamento é preciso ter sempre presentes as condições e hipóteses nele consideradas e sua adequação ao resíduo e às condições de sua disposição.

As propriedades requeridas para que o geossintético possa desempenhar corretamente a função para a qual está sendo dimensionado podem ser obtidas a partir do cálculo da solicitação, como no caso da tração para a função reforço ou da vazão a ser conduzida, no caso da função drenagem, ou

ser obtidas a partir de recomendações de especialistas ou de entidades e associações. No caso do dimensionamento empregando métodos de cálculo para estimar as solicitações, fatores de segurança globais ou parciais são empregados na estimativa das solicitações e conseqüentemente da propriedade requerida.

Os produtos capazes de atender estas propriedades são aqueles para os quais a propriedade funcional ao fim da Vida de Serviço de Projeto é superior à propriedade requerida.

Neste caso a propriedade funcional é estimada a partir da propriedade índice correspondente, dividida por um Fator de Redução Total obtido a partir dos diversos Fatores de Redução Parciais a serem considerados, específicos de cada produto (ver Recomendação IGSBrasil 003, p.ex.).

Alguns dos aspectos que não podem ser negligenciados no dimensionamento são:

- a estabilidade interna e externa do maciço de resíduos, considerando possíveis cunhas de ruptura atravessando o maciço, e passando pelas interfaces entre materiais;
- a estabilidade geral dos revestimentos em taludes, considerando as características de atrito dos diversos componentes e interfaces, o risco de fluxo paralelo ao talude e a eventual passagem de equipamentos;
- o dimensionamento das ancoragens, cuidando de ter sistemas de ancoragem independentes para a barreira de fluxo e os dispositivos de proteção;
- as características peculiares do rejeito (atividade biológica, risco de sufusão,...) e sua implicação na função filtração, avaliando os critérios de retenção, colmatação e permeabilidade;
- a capacidade de fluxo dos dispositivos de drenagem considerando as interfaces de contato e as maiores tensões confinantes a que estarão submetidos, avaliada para o tempo de Vida de Serviço de projeto e condições específicas do resíduo e do dispositivo;

NOTA 1 Fatores de Redução considerando a fluência à compressão/cisalhamento do produto, processos de colmatação, emendas e danos de instalação, entre outros eventualmente identificados no projeto, devem ser aplicados à capacidade de fluxo característica para estimar a propriedade funcional .

NOTA 2 Deve ser evitada a emenda dos elementos de drenagem na direção transversal à das solicitações em tração. Caso isto não seja possível cuidados especiais devem ser previstos para garantir que a solicitação em tração do elemento não possa causar descontinuidade na condução do fluido.

- a possibilidade de recalques diferenciais em todas as superfícies e suas solicitações;
- os esforços devidos à ação dos ventos;
- os esforços localizados induzidos pela presença de elementos construtivos rígidos (paredes, caixas, tubos,...) e em seus acoplamentos ao geossintético;
- a natureza dos resíduos e a evolução de suas características no tempo.

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

9 ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO E GARANTIA DA QUALIDADE

[SUMÁRIO GERAL »](#)

9.1 Introdução

9.2 Cuidados na especificação de projeto para seleção de produtos

9.3 Cuidados na especificação de projeto para a fase executiva

9.4 Controles a serem efetuados

9.1 Introdução

Para que uma obra seja realizada com qualidade é preciso que os geossintéticos a serem empregados sejam corretamente selecionados e atendam as premissas de projeto e as propriedades requeridas. Isto só pode ser conseguido de forma segura com uma correta Especificação de Projeto.

A Especificação de Projeto é um documento elaborado pelo projetista com o objetivo de estabelecer todos os aspectos a serem considerados para garantir uma obra de qualidade. Independentemente do fato de estar sendo preparado para o Projeto Básico ou o Projeto Executivo, duas fases devem

ser consideradas na Especificação de Projeto: a Fase de Seleção de Produtos e a Fase de Execução. A Recomendação IGSR Brasil 003 apresenta a definição dos termos associados à especificação e lista os aspectos a serem considerados.

Quando a Especificação para a Fase Executiva precisar ser realizada antes do produto estar definido, é recomendável que esta especificação indique a necessidade de uma Especificação Complementar, a ser preparada pelo próprio projetista ou pelo Escritório de Supervisão da Obra, atendendo as recomendações estabelecidas na Especificação de Projeto..

9.2 Cuidados na especificação de projeto para seleção de produtos

Para que o processo de seleção dos geossintéticos seja eficiente e possa garantir que apenas produtos capazes de atender os requisitos do projeto sejam selecionados, é preciso que a Especificação de Projeto apresente

todos os critérios necessários para esta seleção.

A Recomendação IGSR Brasil 003 (2014) lista os aspectos que devem constar da especificação nesta fase.

9.3 Cuidados na especificação de projeto para a fase executiva

9.3.1 Critérios de Recebimento e Aceitação

O Critério de Recebimento deve sempre exigir o Certificado de Qualidade de Fabricação (CQF) do produto, emitido pelo fabricante conforme recomenda a IGSR Brasil 002 -1 e 002-2.

É fundamental que o critério de recebimento indique como verificar se o produto entregue na obra é o especificado e adquirido, se atende ao exigido pela NBR ISO 10320 e se o Certificado de Qualidade é satisfatório, apresentando os aspectos relevantes a serem observados, tanto da identificação quanto do Certificado que deve acompanhar o produto.

[SUMÁRIO »](#)[ESCOPO »](#)[NORMAS »](#)[TERMOS »](#)[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPÇÃO »](#)[COMPOSIÇÃO »](#)[AS APLICAÇÕES »](#)[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)[ESPECIFICAÇÃO E QUALIDADE »](#)

O produto aprovado no critério de recebimento passa para a análise do critério de aceitação, que indica a frequência e o procedimento de coleta das amostras a serem ensaiadas, dos ensaios a serem realizados e do procedimento para a realização dos ensaios. Ele deve também estabelecer o procedimento para aceitação ou reprovação do produto.

O controle para o atendimento do critério de aceitação geralmente é feito em função do nível de risco da obra e das consequências de eventual falha do geossintético, da quantidade de geossintético a ser instalado e do fato do produto ser certificado ou não.

Recomenda-se que ensaios de Verificação de Conformidade dos produtos geossintéticos entregues ou a serem entregues na obra, sejam realizados por laboratórios de geossintéticos imparciais e independentes, possuindo acreditação para os métodos de ensaios utilizados no controle de qualidade do geossintético, fornecida por órgão competente, como por exemplo o GAI-LAP, com base no que preconiza a NBR ISO IEC 17025¹.

A Tabela 9.1 apresenta uma sugestão de classificação do nível de controle a ser efetuado.

A Recomendação IGSBrasil 002, Partes 1 e 2 auxilia o projetista indicando os deveres do fabricante relacionados à identificação do produto e ao Certificado de Qualidade de Fabricação (CQF) que deve acompanhar os produtos entregues na obra. Ela também traz os detalhes do controle de qualidade industrial e processos para aceitação ou reprovação do produto na indústria, que geralmente são os mesmos adotados para o critério de aceitação do produto na obra.

9.3.2 Cuidados no processo construtivo e controle de qualidade da obra

Os cuidados com a instalação devem atender aos aspectos relacionados à função à desempenhar e as características do dispositivo e do produto.

A preparação da base sobre a qual o geossintético será instalado, o modo de disposição das bobinas ou fardos, a ancoragem provisória ou definitiva dos

painéis, as eventuais emendas por sobreposição, costura ou solda, que o produto exigir, devem ser escolhidas tendo em vista o tipo de produto e suas solicitações, e estar claramente indicadas, com os procedimentos e controles de qualidade desta etapa bem definidos.

Além disto, o documento deve trazer os cuidados com a colocação do material que irá recobrir o geossintético e com o tráfego de veículos ou pessoas sobre ele, indicando os procedimentos a serem tomados até a entrega da obra e até mesmo posteriormente a entrega, caso sejam necessários.

No caso das barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas) os detalhes com os cuidados de instalação e controle da obra estão indicados na NBR 16199.

Tabela 9.1 Níveis de controle sugeridos para cada função

Frequência do controle	Funções				
	Filtração	Reforço	Drenagem	Proteção	Barreira
Alta	-	Tração Rigidez Fluência sob tração	-	-	Espessura
Média	Abertura de filtração Permeabilidade normal		Capacidade de fluxo	Puncionamento estático	Tração
Baixa	Tração Rigidez Perfuração dinâmica Espessura	Perfuração dinâmica Atrito de interface	Tração Fluência sob compressão	Tração Perfuração dinâmica	Rigidez Perfuração dinâmica

Fonte: adaptada do CFG (1995)²

¹ NBR ISO IEC 17025 Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT.

² CFG (1995) Recommandations pour l'utilisation des geosynthetiques dans le centres d'storage de déchets Comité Français de Géosynthetiques

9.4 Controles a serem efetuados

9.4.1 Controle da camada de suporte do geossintético

A NBR 16199 detalha os cuidados a tomar com a camada de suporte da geomembrana. Muitos destes aspectos, como por exemplo os relacionados à forma (geometria, nivelamento, planimetria, declividades,..), à agressividade do material de base (textura, angularidade, pedras, raízes,...), à capacidade de suporte ou às interferências, também são aspectos a serem considerados para os outros geossintéticos, com maior ou menor severidade, tendo em vista a influência destes fatores no comportamento esperado.

9.4.2 Controle do geossintético

Os produtos recebidos devem passar por controle de recebimento e de aceitação, conforme discutido em 9.3.2. Ao encaminhar o produto para a instalação deve estar previsto o controle dos documentos que comprovem que este é o produto a ser instalado e que foi aceito, e deve ser feito o controle da qualidade do armazenamento, avaliando se o material a ser instalado continua íntegro, sem danos ou sujeira acumulada, e se a armazenagem previu sua proteção aos raios UV, caso necessário.

9.4.3 Controle da instalação

Antes do início da instalação é preciso verificar se a camada suporte foi controlada e aceita, e atende aos critérios recomendados. Também deve-se verificar se o documento com as condições de circulação no canteiro de obras atende as necessidades da instalação e está sendo respeitado.

Para a instalação, é preciso verificar se as condições climáticas são satisfatórias e se o tempo máximo de exposição aos raios UV, indicado no Certificado de Qualidade, está de acordo com a necessidade da obra e se está sendo respeitado.

Antes da disposição das bobinas ou fardos no terreno é preciso analisar se o Plano de Verificação da Qualidade traz a modulação dos painéis, com indicações detalhadas sobre o seu posicionamento e respectivas sobreposições, e se esta proposta poderá ser atendida, uma vez que iniciada a colocação, o painel não poderá mais ser movimentado, caso se trate de barreira geossintética, ou só poderá ser deslocado com autorização expressa do Escritório de Supervisão da Obra, no caso de geotêxteis ou correlatos.

NOTA: A modulação dos painéis da barreira geossintética deve incluir todas as sobras das bobinas, possíveis de serem aproveitadas. É recomendável que a fiscalização não aceite a colocação de sobras não previstas na modulação.

É preciso também estabelecer regras para o controle dos equipamentos a serem empregados em todas as etapas da instalação, inclusive os de costura (para GTX) ou de solda (para GBR-P). Também devem ser estabelecidas regras para o controle da qualificação de seus operadores e de todo o pessoal envolvido, com atenção especial à qualificação dos instaladores das geomembranas poliméricas (ver NBR16199). Todas as emendas devem ser submetidas a controle.

Para geotêxteis emendados por costura é preciso também prever a coleta de amostras e a verificação da qualidade da costura através de ensaios de resistência à tração da emenda (NBR ISO 10321).

Os processos de ancoragem provisória e permanente também devem ser objeto de controle. No caso da ancoragem provisória deve ser também previsto o controle quando de sua remoção, para verificar se o procedimento adotado para retirar as âncoras não deslocou ou danificou o geossintético.

Um controle geral da área antes da liberação para a colocação da camada de cobertura deve ser realizado, verificando a presença de elementos ou material estranho, os contatos com as interferências e eventuais bordas livres, que precisem ser protegidas, de modo a garantir a continuidade do atendimento da função que o geossintético deve desempenhar.

9.4.4 Controle do material granular ou outros materiais usados na camada superior

A natureza e origem dos materiais a serem aplicados em contato com o geossintético precisam ser controlados, verificando se atendem às características granulométricas, de angularidade, limpeza e permeabilidade especificadas em projeto. No caso de materiais alternativos é preciso também controlar a compatibilidade química de seus componentes com o geossintético instalado.

Dutos ou outros elementos que impliquem em esforços localizados devem ter avaliadas suas superfícies e processos de acoplamento e suporte, e se a precaução com a distribuição das cargas está considerada no projeto. Atenção especial precisa ser dada aos pontos que devem receber cargas concentradas tais como bases para sistemas de drenagem verticais.

9.4.5 *Controle da documentação escrita*

O controle da documentação deve começar pela análise da Especificação de Projeto e do Plano de Verificação da Qualidade, verificando a possibilidade de atendimento a seus requisitos e a eventual necessidade de ajustes entre as partes envolvidas.

Antes do início da instalação é preciso ter um documento que estabeleça as regras para o acesso e a circulação no canteiro de obras, indicando as vias e o sentido de circulação, e as zonas de interdição de tráfego ou de tráfego restrito.

Diariamente uma série de documentos devem ser preparados: o Diário de Obra com a lista de pessoal presente no canteiro, o avanço da obra e a indicação de qualquer incidente ou alteração do projeto, a planta do “As Built” para as barreiras geossintéticas poliméricas (geomembranas), e os diversos relatórios de acompanhamento e controle.

A NBR 16199 traz detalhes destas fichas e relatórios de controle a serem empregados quando da instalação de geomembranas termoplásticas, e muitos deles podem também ser aplicados para a instalação de outros geossintéticos.

[SUMÁRIO »](#)

[ESCOPO »](#)

[NORMAS »](#)

[TERMOS »](#)

[ASPECTOS RELEV.RESÍDUOS »](#)

[ASPECTOS GERAIS DA CONCEPCÃO »](#)

[COMPOSICÃO »](#)

[AS APLICACÕES »](#)

[PRINCIPIOS DO DIMENSIONAMENTO »](#)

[ESPECIFICACÃO E QUALIDADE »](#)

PARTICIPANTES

[SUMÁRIO GERAL »](#)

1) Tomaram parte na elaboração deste Projeto com participação presencial:

Instituição/Empresa	Representantes		
BRASKEN	Celso Luiz Lotti	Marcial César Vieira	
CIPATEX	Adolpho Meldau	Afonso Moretti	
consultores	Indiara Giugni Vidal	Caroline Tomazoni dos Santos	
ENGEPOL	Andréia Machado		
ESTUDANTE	Marcus G Moravia		
FACENS	Karina Leonetti	Francisco A.Alencar	
HUESKER	Emília M. de Andrade		
ITA	Delma Vidal (coordenadora)		
LABORCONTROL	Paloma de Haro		
MACCAFERRI	Daniele Martin Ojea	Paulo Rocha	Alda Maria Cappe
MEXICHEM/ BIDIM	Demetrius Guimarães Luiz Flavio Barros	Claudilene L. Carvalho Hilton Tardival	Cynthia Santana Natália F L da Silva
NEOPLASTIC	Daiani A. M. Santos	Daniel Moreno Meucci	
NORTENE	Francisco A.L. Bastos	Roberto Hashimoto	
OBER SA	Carlos Vinicius Benjamim	Antonio Carlos de Lima	
ROMA	Hersio A.Ranzani Jr	Marcos F.Leme	
SANSUY	Carlos E.P.da Fonseca	Jorge Takeda	Jean Trajano
TDM	Marcus Vinicius Weber de Campos	Carlos A.C. Panta	
TRI AMBIENTAL	Julio Ferreira		
USP EESC	Jefferson Lins da Silva		
VEGETECH	Luis Flavio de Barros		

