

MacSoil®

Manual Técnico – Módulo 1

Dimensionamento e considerações gerais

MACCAFERRI

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Descrição da solução MacSoil®	2
3. Análises de estabilidade MacSoil®	3
3.1 <i>Verificação da estabilidade contra o deslizamento.....</i>	4
3.2 <i>Verificação de estabilidade contra o tombamento.....</i>	5
3.3 <i>Verificação das pressões aplicadas à fundação.....</i>	6
3.4 <i>Verificação de estabilidade contra a ruptura global</i>	8
4. Determinação de parâmetros de solo	14
4.1 <i>Parâmetros de solo de fundação e terrapleno</i>	14
4.2 <i>Parâmetros de aterro ao tardo.....</i>	17
4.3 <i>Parâmetros de solo de preenchimento da peça</i>	19
4.4 <i>Solo de preenchimento da face</i>	22
5. Geometria da solução	24
6. Sobrecargas.....	27
7. Dúvidas frequentes	28
8. Exemplos de cálculos.....	32

Manual de cálculo MacSoil®

1. Introdução

Este manual foi desenvolvido com a intenção de abordar o dimensionamento e as considerações gerais da solução MacSoil® produzida pela Maccaferri.

A finalidade deste manual é proporcionar informações e critérios gerais desenvolvidos para o dimensionamento e o projeto de obras flexíveis de contenção em MacSoil®.

O propósito da Maccaferri é disponibilizar novas e úteis contribuições para as áreas de projeto de obras de contenção em MacSoil®, auxiliando o trabalho dos projetistas e construtores que utilizam esta estrutura.

Para uma análise mais detalhada sobre os argumentos aqui tratados, sugerimos a consulta junto a Maccaferri. Neste manual serão apresentadas considerações de cálculo e dimensionamento detalhados da aplicação das metodologias de cálculo expostas, bem como alguns detalhes sobre a aplicação do MacSoil®.

A Maccaferri coloca-se à total disposição para a solução de problemas particulares, disponibilizando sua experiência, adquirida em mais de 130 anos de existência em todo o mundo.

2. Descrição da solução MacSoil®

A solução MacSoil® da Maccaferri foi especialmente desenvolvida para a recomposição de taludes e margens através da construção de estruturas de contenção e revestimento com paramento frontal vegetado.

O MacSoil® pode ser preenchido com solo e ou resíduos de construção e demolição (RCD), resultando uma estrutura ecologicamente correta, de mínimo impacto ambiental, com excelente integração ao meio e de inúmeras possibilidades paisagísticas e arquitetônicas, devido à possibilidade em se utilizar vegetação ornamental na face da estrutura.

O paramento frontal da solução MacSoil® é composto por células preenchidas com solo vegetal, contidas por um geocomposto MacMat RT, que evita a fuga de material fino ao mesmo tempo em que cria um ambiente propício ao desenvolvimento vegetal.

- ✓ MacSoil® 2,0 x 1,5 x 1,0 ; 2,0 x 1,5 x 0,5 (Comprimento x Largura x Altura)
- ✓ Arame ø 2.7mm (Padrão) – PVC
- ✓ Malha 10x12 (Padrão) – PVC
- ✓ Inclinação: 65°
- ✓ Painel do Paramento Frontal formado pela associação de painel em malha hexagonal de dupla torção, geossintético tipo geomanta e varetas metálicas
- ✓ Varetas metálicas em aço ø 2.7mm, revestidos com Galfan e PVC
- ✓ Diafragma Paralelo à face em malha e arame similares ao do elemento

3. Análises de estabilidade do MacSoil®

É necessária a verificação da segurança da estrutura MacSoil® contra os diversos tipos de ruptura. Para esta solução, os tipos principais de ruptura que podem ocorrer são os seguintes:

Ruptura global: escorregamento ao longo de uma superfície de ruptura que contorna a estrutura (Figura 1).

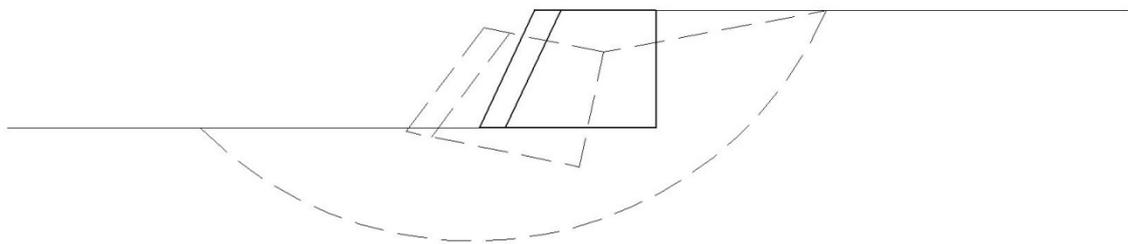


Figura 1. Ruptura global

Deslizamento sobre a base: ocorre quando a resistência ao escorregamento ao longo da base do muro, somada ao empuxo passivo disponível à frente da estrutura, é insuficiente para neutralizar o efeito do empuxo ativo atuante (Figura 2).



Figura 2. Deslizamento

Tombamento: ocorre quando o momento estabilizante do peso próprio do muro em relação ao fulcro de tombamento é insuficiente para neutralizar o momento do empuxo ativo (Figura 3).

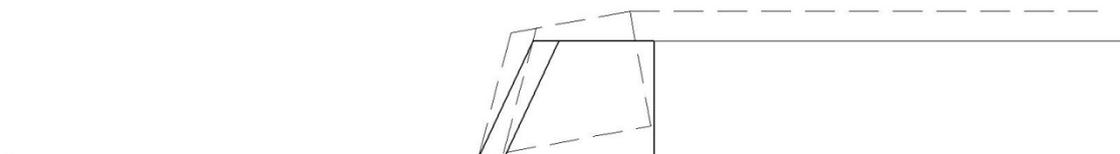


Figura 3. Tombamento

Ruptura da fundação: ocorre quando as pressões aplicadas pela estrutura sobre o solo de fundação são superiores à sua capacidade de carga (Figura 4)

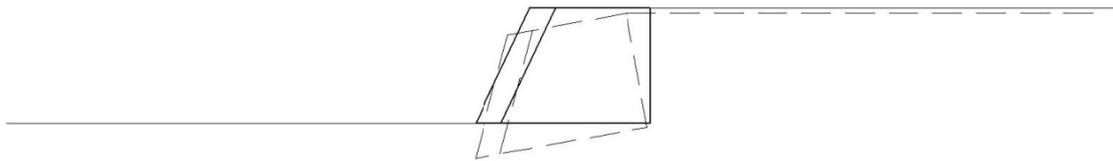


Figura 4. Ruptura na fundação

3.1. Verificação da estabilidade contra o deslizamento

O deslizamento da estrutura ocorre quando a resistência contra o deslizamento ao longo da base do muro de arrimo, somada ao empuxo passivo disponível à sua frente, não é suficiente para se contrapor ao empuxo ativo.

Pode-se definir um coeficiente de segurança contra o deslizamento:

$$F_d = \frac{T_d + E_{pd}}{E_{ad}}$$

Onde “ E_{ad} ” e “ E_{pd} ” são as componentes dos empuxos ativo e passivo na direção do escorregamento (Figura 5).

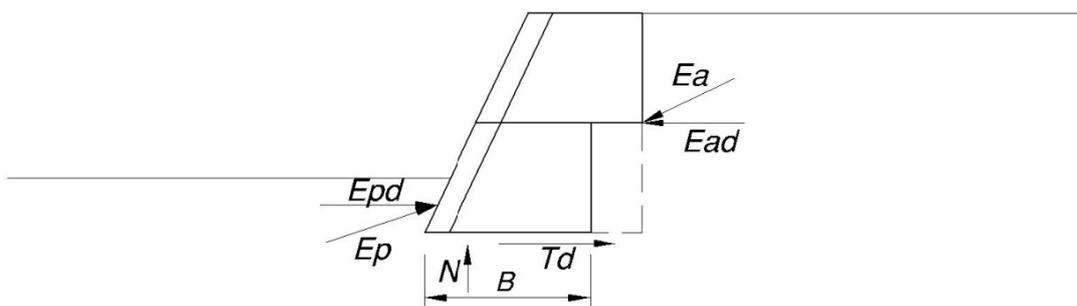


Figura 5. Componentes do empuxo

A força “ T_d ” é a resistência disponível ao longo da base da estrutura e vale:

$$T_d = N \cdot \tan \delta^* + a^* \cdot B$$

Onde “ δ^* ” é o ângulo de atrito entre o solo da fundação e a base da estrutura, e “ a^* ” é a adesão entre o solo e a base.

Os valores sugeridos para “ δ^* ” e “ a^* ” são:

$$\frac{2}{3} \tan \phi \leq \tan \delta^* \leq \tan \phi \quad \frac{1}{3} \cdot c \leq a^* \leq \frac{3}{4} \cdot c$$

Sugere-se também que o valor de “ $F_d \geq 1,5$ ” seja para solos não coesivos e “ $F_d \geq 2,0$ ”, para solos coesivos.

3.2. Verificação da estabilidade contra o tombamento

O tombamento da estrutura de MacSoil® pode ocorrer quando o valor do momento do empuxo ativo em relação a um ponto “A” situado no pé do muro (Figura 6) supera o valor do momento do peso próprio da estrutura, somado ao momento do empuxo passivo. O ponto “A” é denominado fulcro de tombamento.

O coeficiente de segurança contra o tombamento é dado por:

$$F_t = \frac{M_P + M_{E_p}}{M_{E_a}}$$

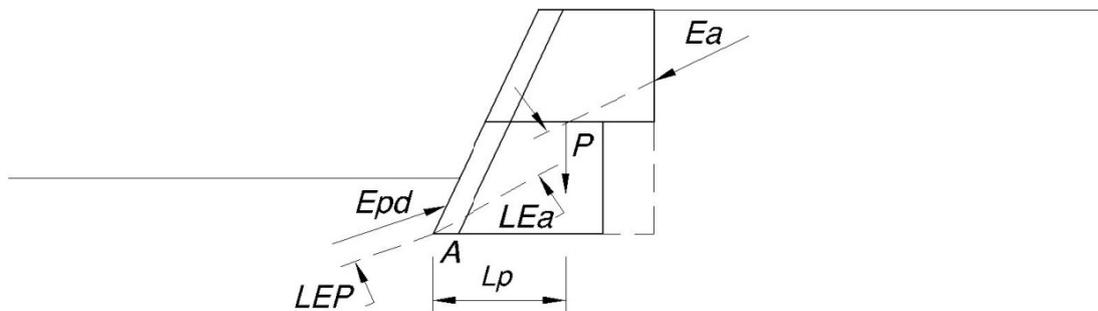


Figura 6. Verificação quanto ao tombamento

Outra forma de se definir o coeficiente de segurança contra o tombamento é se considerar que apenas a componente horizontal do empuxo ativo “ E_{ah} ” contribui com o momento de tombamento, enquanto sua componente vertical “ E_{av} ” contribui com o momento resistente. Assim o coeficiente de segurança “ F_t ” ficaria:

$$F_t = \frac{M_P + M_{E_p} + M_{E_{av}}}{M_{E_a}}$$

Esta última forma de “Ft” é mais utilizada, pois evita que o coeficiente de segurança contra o tombamento resulte negativo quando o momento do empuxo ativo “MEa” é negativo. Esta situação ocorre quando a reta suporte do vetor que representa a força “Ea” passa abaixo do fulcro de tombamento.

Quanto ao valor mínimo para o coeficiente de segurança contra o tombamento, sugere-se que “Ft ≥ 1,5”.

3.3. Verificação das pressões aplicadas à fundação

Outra verificação necessária é em relação às pressões que são aplicadas na fundação pela estrutura de MacSoil®. Estas pressões não devem ultrapassar o valor da capacidade de carga do solo de fundação.

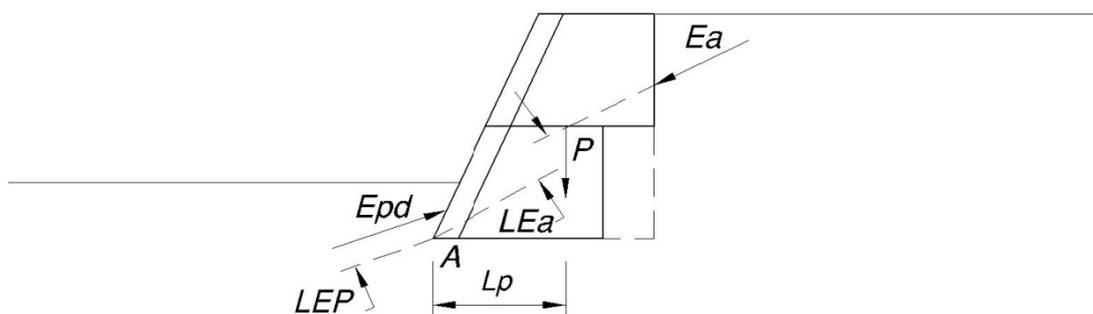


Figura 7. Ponto de aplicação de “N”

Através do equilíbrio de momentos atuantes sobre a estrutura de arrimo, pode-se determinar o ponto de aplicação da força normal “N”

$$d = \frac{M_p + M_{E_p} + M_{E_{av}}}{N}$$

Esta força normal é a resultante das pressões normais que agem na base da estrutura do MacSoil®. Para que estas pressões sejam determinadas, a forma da distribuição delas deve ser conhecida. Normalmente admite-se uma distribuição linear para estas pressões, e então, os valores máximo e mínimo delas ocorrerão nas bordas da base a estrutura (Figura 8) e serão dadas por:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e}{B}\right)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e}{B}\right)$$

para “ $e \leq B/6$ ”.

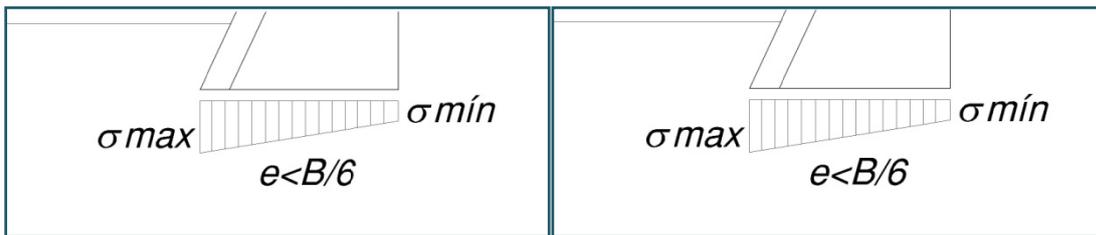


Figura 8. Distribuições de pressões na fundação

Caso o valor da excentricidade “ e ” seja maior que “ $B/6$ ”, há um descolamento da parte anterior da base resultando numa distribuição triangular. A pressão máxima será:

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot d}$$

Deve-se evitar esta última condição devido à concentração de tensões que ocorre. Para se determinar a capacidade de carga da fundação do muro pode-se recorrer à expressão proposta por Hansen.

$$\sigma_{\lim} = c \cdot N_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

Onde:

$q = \gamma \cdot y$	$i_q = 1 - \frac{T}{2 \cdot N}$	$i_\gamma = i_q^2$
----------------------	---------------------------------	--------------------

$d_c = d_q = 1 + 0,35 \cdot \frac{y}{B}$	$d_\gamma = 1$	$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$
--	----------------	--

$$N_{\gamma} = 1,8 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi$$

Nas expressões acima, “ γ ”, “ c ” e “ ϕ ” são o peso específico, a coesão e o ângulo de atrito interno, respectivamente, do solo da fundação; “ y ” é a altura do solo à frente do muro em relação à cota de apoio, e “ T ” é a força tangencial que age na base.

A pressão máxima admissível será dada por:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{3}$$

Caso haja camadas de solos menos resistentes abaixo da fundação, a carga máxima admissível deve ainda ser verificada para estas camadas. Neste caso deve-se também levar em conta o “espraiamento” das pressões verticais aplicadas pela estrutura de arrimo até a camada analisada.

3.4. Verificação da estabilidade contra a ruptura global

Além das formas de ruptura citadas nos itens anteriores, pode ainda ocorrer a ruptura global do maciço ao longo de uma superfície de ruptura que contorna a estrutura de arrimo sem tocá-la. Este tipo de ruptura ocorre principalmente quando há camadas ou zonas de solos menos resistentes abaixo da fundação do muro de arrimo.

Esta forma de deslizamento é similar à que ocorre em taludes e, portanto, os métodos utilizados na análise da estabilidade de taludes podem aqui também ser utilizados.

Os métodos de análise da estabilidade de taludes mais empregados são os que analisam a parte do maciço sujeita ao deslizamento como blocos rígidos e os métodos que o analisam como um bloco único dividido em fatias, também chamadas lamelas.

Os métodos do primeiro tipo geralmente utilizam superfícies de ruptura planas (Figura 9) como o método das cunhas, enquanto aqueles do segundo tipo utilizam geralmente superfícies de ruptura cilíndricas como o método de Fellenius e o método de Bishop (Figura 11).

O método das cunhas considera que a superfície de ruptura é formada por uma série de planos que delimitam cunhas rígidas. O equilíbrio dessas cunhas rígidas requer que uma parcela da resistência seja mobilizada ao longo desses planos. A relação entre a

resistência disponível ao longo da superfície de ruptura e a resistência mobilizada é o coeficiente de segurança contra a ruptura do maciço. A superfície mais crítica é então determinada por um processo de tentativas que busca identificar aquela que apresenta o menor valor para o coeficiente de segurança.

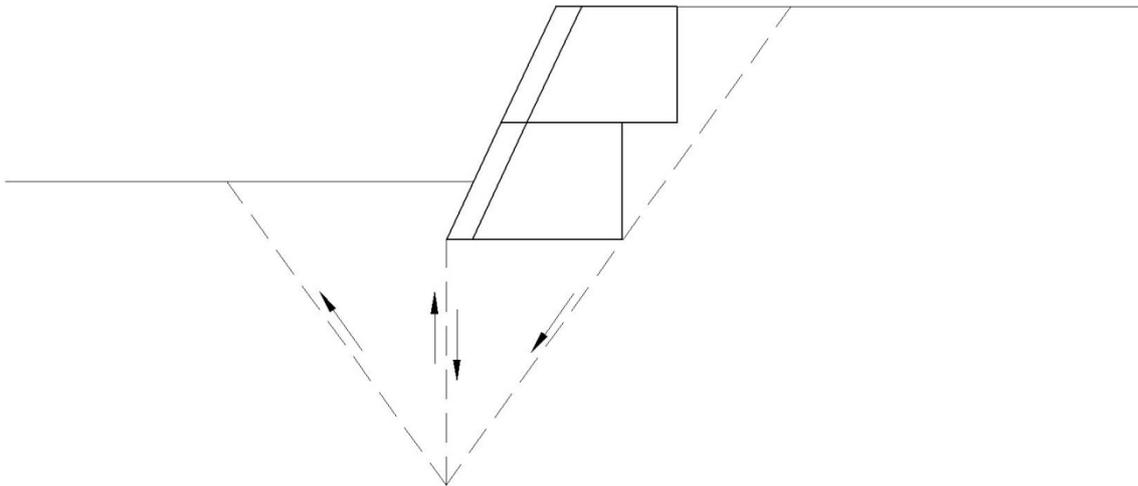


Figura 9. Ruptura global do maciço (método das cunhas - superfícies planas)

Pode-se perceber que a análise descrita acima é bastante similar àquela feita na verificação contra o deslizamento da estrutura ao longo da base (item 3.6.4). Ali também os planos de ruptura formam três “cunhas” rígidas: a cunha ativa, a estrutura de arrimo e a cunha passiva (Figura 10). A principal diferença é que no equilíbrio da cunha ativa considera-se a mobilização total da resistência ao cisalhamento ao longo das superfícies AB e AC. Isto significa considerar-se um valor de coeficiente de segurança unitário para o escorregamento ao longo dessas superfícies. Assim, o coeficiente de segurança ao deslizamento “Fd” é na verdade restrito às superfícies da base do muro e da cunha passiva. Como foi mobilizada toda a resistência disponível ao longo das superfícies da cunha ativa, a resistência necessária para o equilíbrio do conjunto ao longo das superfícies onde “Fd” calculado é menor, o que resulta num valor numericamente superior para este em relação ao coeficiente de segurança contra a ruptura global.

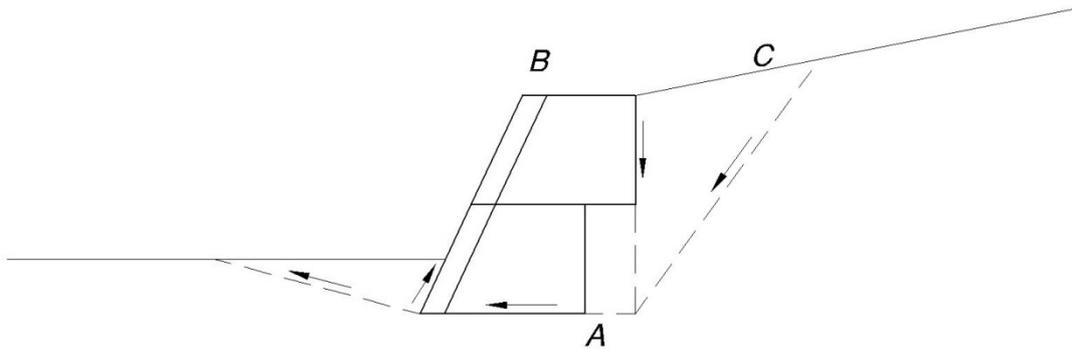


Figura 10. Cunhas formadas na análise de deslizamento

Esta superioridade não significa, porém, uma maior segurança, mas é apenas resultado da forma de cálculo. Assim, os valores mínimos exigidos para uma análise contra a ruptura global devem também ser menores que os exigidos contra o deslizamento ao longo da base.

Quanto aos métodos que empregam superfícies cilíndricas, sua forma de determinação do coeficiente de segurança é equivalente à do método das cunhas, já que também consideram a mobilização parcial da resistência ao longo de toda a superfície de ruptura. Estão, assim, sujeitos à mesma observação feita acima.

A grande vantagem dos métodos que subdividem o material potencialmente instável em lamelas é a possibilidade de se considerar um grande número de diferentes situações tais como camadas de solos diferentes, pressões neutras, lençol freático, sobrecargas, etc. Além disso, a consideração de superfície de ruptura cilíndrica é mais realista por se aproximar melhor das rupturas observadas. Por isso são largamente empregadas na análise da estabilidade, tanto de taludes quanto de muros de contenções. Entre esses métodos, o mais utilizado é o método de Bishop simplificado, descrito a seguir (Figura 11).

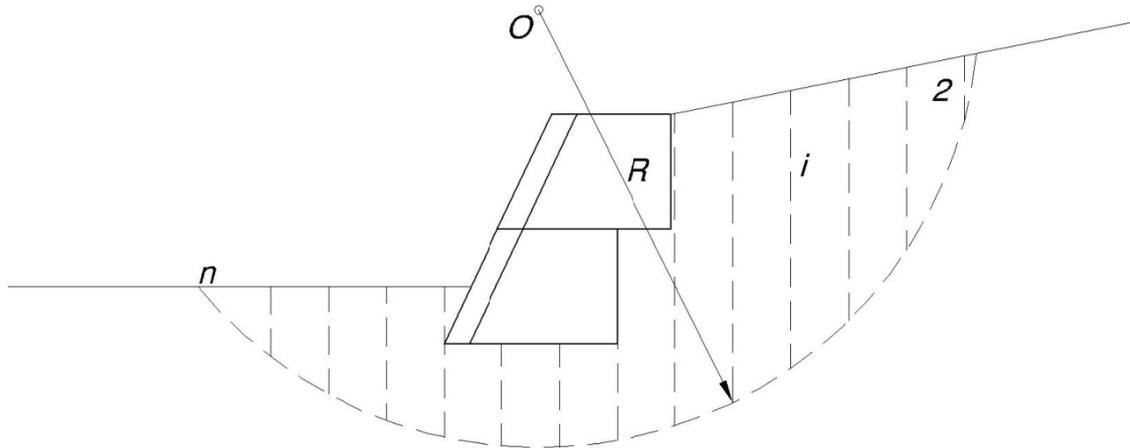


Figura 11. Modelo Bishop

Primeiramente é admitida uma superfície de ruptura cilíndrica arbitrária, e o material delimitado por esta superfície é dividido em lamelas (Figura 11). As forças que agem sobre cada uma dessas lamelas estão mostradas na figura 3.6.11. São elas o peso próprio da lamela, as forças normal “N” e tangencial “T” que agem na superfície de ruptura e as forças horizontais “H1” e “H2” e verticais “V1” e “V2” que agem nas faces laterais da lamela.

Fazendo-se o equilíbrio de forças na direção vertical obtém-se:

$$N \cdot \cos \alpha = P - T \cdot \sin \alpha - (V_1 - V_2)$$

A força tangencial “T” é dada por:

$$T = \frac{s \cdot b_0}{F} = \frac{s \cdot b}{F \cdot \cos \alpha}$$

Onde “F” é o coeficiente de segurança (admitido igual para todas as lamelas) contra a ruptura, e “s” é a resistência ao cisalhamento na lamela, dada por:

$$s = c + \sigma \cdot \tan \phi = c + \frac{N \cdot \cos \alpha}{b} \cdot \tan \phi$$

Pode-se admitir que “V1 - V2 = 0” com pequena perda de precisão no resultado. Assim:

$$N = \frac{P}{\cos \alpha} - \frac{s \cdot b}{F \cdot \cos \alpha} \cdot \tan \alpha$$

Assim, a resistência "s" fica:

$$s = c + \left(\frac{P}{b} - \frac{s}{F} \cdot \tan \alpha \right) \cdot \tan \alpha$$

Ou:

$$s = \frac{c + \frac{P}{b} \cdot \tan \phi}{1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F}}$$

Fazendo-se o equilíbrio global de momentos em relação ao centro do arco de ruptura e lembrando que a somatória dos momentos das forças laterais entre as lamelas é nula, obtém-se:

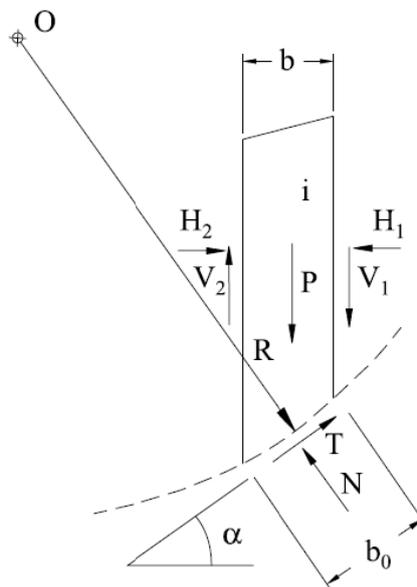


Figura 12. Forças que agem sobre a lamela

$$\sum_{i=1}^n (RT_i) = \sum_{i=1}^n (R \cdot T_i \cdot \text{sen } \alpha_i)$$

Ou:

$$R \cdot \sum_{i=1}^n \frac{s \cdot b}{F \cdot \cos \alpha} = R \cdot \sum_{i=1}^n (P \cdot \sin \alpha)$$

Então:

$$F = \frac{\sum (s \cdot b / \cos \alpha)}{\sum (P \cdot \sin \alpha)}$$

Obtendo-se finalmente:

$$F = \frac{\sum \frac{(s \cdot b + P \cdot \tan \phi)}{\cos \alpha + \tan \phi \cdot \sin \alpha}}{\sum (P \cdot \sin \alpha)}$$

Como o coeficiente de segurança “F” aparece nos dois lados da expressão, sua determinação é iterativa.

Devem-se pesquisar várias superfícies de ruptura até se encontrar a mais crítica (menor valor de “F”). Como para a identificação de uma superfície de ruptura são necessários três parâmetros (posição horizontal e vertical do centro “O”, além do valor do raio “R”), esta pesquisa é bastante trabalhosa e existem vários algoritmos de pesquisa que podem ser empregados. Um dos mais eficientes deles utiliza uma versão modificada do método Simplex, que é normalmente empregado em pesquisa operacional.

4. Determinação de parâmetros de solo

Neste item iremos abordar os procedimentos que deverão ser realizados a fim de obter os solos que estarão diretamente ligados com a estabilidade da estrutura de MacSoil®. Basicamente teremos os seguintes solos presentes nas considerações de cálculos da solução:

- ✓ Solo de fundação
- ✓ Terrapleno
- ✓ Aterro ao tardo
- ✓ Solo de preenchimento da peça (caso for especificado em projeto). Lembrando que o MacSoil® pode ser preenchido por RCD ou também pelo rachão tradicional.
- ✓ Solo de preenchimento da face (caso for especificado em projeto)

Para termos um melhor entendimento do posicionamento de cada solo supracitado, podemos analisar a Figura 13.

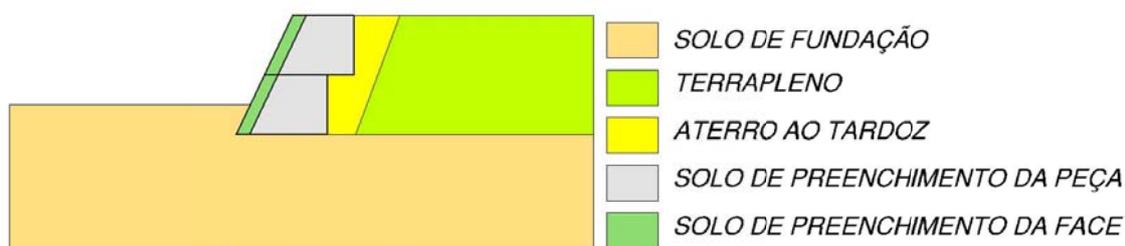


Figura 13. Solos considerados no cálculo

4.1. Parâmetros de solo de fundação e Terrapleno

Para o solo de fundação e o terrapleno, deverá ser realizada uma investigação do solo com ensaios capazes de estabelecer direta ou indiretamente os parâmetros de resistência do maciço, para isto é estabelecido como nível mínimo de conhecimento das características dos maciços, o ensaio de SPT (Figura 14).



Figura 14. Ensaio de SPT

O ensaio de SPT supracitado não determina diretamente os parâmetros de resistência dos solos estudados, muito menos o peso específico, porém com ajuda de um material bastante utilizado no trabalho de correlações de valores, a tabela de JOPPERT, podemos correlacionar os números de golpes (e classificação de solo) encontrados no ensaio de SPT para encontrar parâmetros de resistência do solo de fundação e terrapleno (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros médios dos solos

Tipo de Solo	Faixa de SPT	Modulo de elasticidade (t/m ²)	Peso Específico		Ângulo de atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (t/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa/pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	-
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	-
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	-
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	-
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
Areia média e fina muito argilosa	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75

pouco arenosa (terciário) Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	3 – 5	100 – 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 – 10	250 – 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 – 19	500 – 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 – 30	3000 – 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 – 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 – 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 – 5	500 – 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 – 10	1500 – 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 – 19	2000 – 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 – 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica	0 – 1	40 – 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 – 5	100 – 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Fonte : (JOPPERT, 2001)

Para a determinação direta dos parâmetros de solo de fundação e de terrapleno, deverão ser realizados ensaios como os supracitados, cisalhamento direto ou triaxial, que conseguem determinar diretamente os parâmetros do maciço ensaiado com seus respectivos valores de resistência, sem a necessidade de realizar correlações com qualquer outro tipo de tabela (Figura 15).



(a) (b)
Figura 15. (a) Ensaio de cisalhamento direto
(b) Ensaio triaxial

FONTE: Laboratório de geotecnia UNICAMP

4.2. Parâmetros do aterro ao tardo

Todas as obras de contenções, sejam a gravidade ou a flexão, possuem um volume de aterro aplicado na seção projetada, este aterro pode fazer referência a uma elevação de nível Figura 16, ou podem ser aplicados apenas como recomposição do corte realizado para a implantação da contenção, Figura 17.

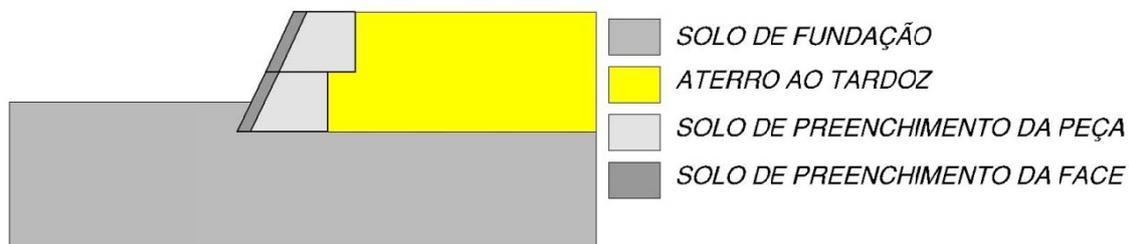


Figura 16. Solo de aterro para elevação de nível

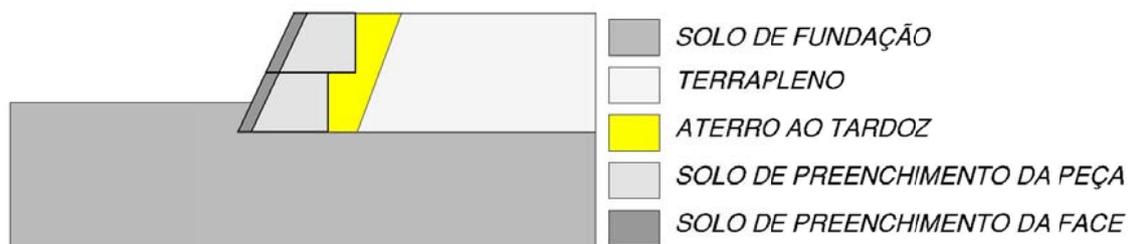


Figura 17. Solo de recomposição do corte

Hoje em dia muitas obras estão sendo realizadas com aterros oriundos do próprio material escavado e cortado para a implantação da estrutura, devido ao baixo custo

refletido no orçamento final da obra, porém para esta condição ser validada tem-se algumas verificações prévias a serem realizadas.

Expansividade: Os solos utilizados no corpo do aterro, ao tardo da estrutura, deverão estar isentos de matéria orgânica e outras impurezas, e deverão apresentar expansividade inferior a 2,0%, que pode ser determinado através do ensaio de CBR (Figura 18).



Figura 18. Ensaio de CBR

FONTE: reengenharia.blogspot.com.br

Índice de plasticidade: O solo a ser aplicado como aterro ao tardo deverá possuir um índice de plasticidade menor que 7 e possuir capacidade mecânica resistente superior a forças de compressão e empuxo atuantes na estrutura.

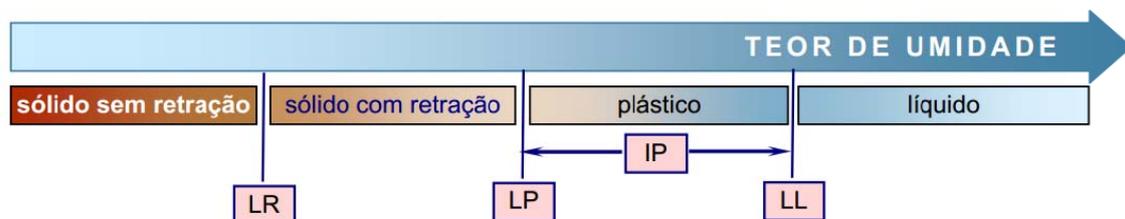


Figura 19. Índice de plasticidade

E por fim o solo a ser utilizado como aterro ao tardo deverá ser compactado em camadas com espessura máxima acabada de 25 cm (Figura 20), até atingir o grau de compactação de 100% em relação à energia normal de compactação (Figura 21), sendo que à 1,0m da estrutura a compactação deve ser processada através do uso de placas vibratórias ou sapos mecânicos (Figura 22), para evitar dano pela proximidade do rolo compactador.

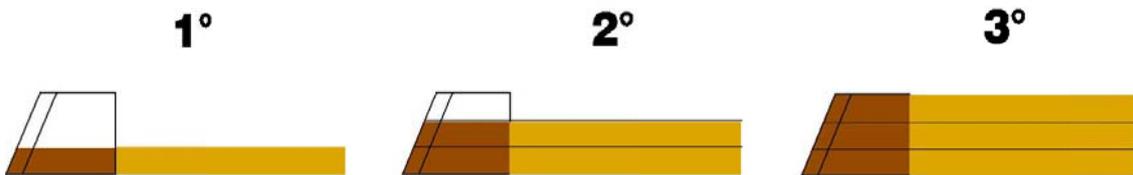


Figura 20. Compactação do solo de aterro



Figura 21. Rolo compressor

FONTE:

www.flickr.com/photos/arcometropolitanouerj



Figura 22. Sapos mecânicos

FONTE:

www.wrent.com.br/popcompacsapo.htm

4.3. Parâmetros do solo de preenchimento da peça

Para o preenchimento da peça de MacSoil[®], podemos utilizar alguns tipos de materiais que contribuirão com o peso final da estrutura, e garantirão a estabilidade da mesma frente aos esforços atuantes, oriundo dos empuxos e sobrecargas. Os materiais a serem utilizados como preenchimento do MacSoil[®] são:

- ✓ RCD (Resíduo de construção civil)
- ✓ Pedras Rachão
- ✓ Solo compactado

RCD: O resíduo de construção civil mais indicado para o preenchimento da estrutura de MacSoil[®] é material cinza, ou seja, derivado do concreto, pois os mesmos apresentam um peso específico próximo ao da pedra rachão tradicional, e uma alta resistência a compressão (Figuras 23,24 e Tabela 2).



Figura 23. Ensaio de compressão do RCD



Figura 24. Amostras ensaiadas (RCD)

Tabela 2. Resultados dos ensaios de compressão do RCD

AMOSTRAS SECAS	LARG. (cm)	COMP. (cm)	ALT. (cm)	CARGA ADM. (Kn)	ÁREA (m ²)	TENSÃO ADM (MPA)
AMOSTRA 1	6	7	5	177,1	0,0042	42
AMOSTRA 2	5	6,5	5	109,6	0,00325	33
AMOSTRA 3	5	10,5	5	206,4	0,00525	39

Os parâmetros adotados para a peça preenchida com RCD seguem os valores da Tabela 3:

Tabela 3. Parâmetros adotados para peça com RCD

Peso Específico*: 15kN/m ³	Ângulo de atrito: 30 – 35°	Coesão**: 20kPa
---	--------------------------------------	---------------------------

*Peso específico da peça preenchida com RCD, ou seja neste valor já esta sendo considerada a porosidade existente na peça.

**Coesão o valor indicado na Tabela 3 para a coesão faz referência a ação de confinamento da malha hexagonal dupla torção 10x12.

Pedras Rachão: O material mais utilizado para preenchimento (Figura 25) de muros de contenções a gravidade tem sido a pedra rachão, material este que também pode ser aplicado na solução MacSoil®. Sendo um material pétreo, o mesmo confere a estrutura um peso final que possibilita a estabilidade da mesma frente aos esforços solicitantes, oriundos do empuxo e das sobrecargas.



Figura 25. Pedras Rachão

FONTE: www.aremixdistribuidora.com.br/pedra.aspx

Os parâmetros da peça preenchida com parâmetros de rachão são:

Tabela 4. Parâmetros adotados para peça com Rachão

Peso Específico*: 17kN/m ³	Ângulo de atrito: 40°	Coesão**: 20kPa
---	---------------------------------	---------------------------

**Peso específico da peça preenchida com Rachão, ou seja neste valor já esta sendo considerada a porosidade existente na peça.*

***Coesão o valor indicado na Tabela 4 para a coesão faz referência a ação de confinamento malha hexagonal dupla torção, encontrados ensaios de laboratório por correlações.*

Solo compactado: Outro material que pode ser utilizado como preenchimento da estrutura de MacSoil® é simplesmente o solo compactado, que deverá avaliado e validado previamente antes da aplicação do mesmo como corpo da solução.

Expansividade: Os solos utilizados no corpo do aterro, ao tardo da estrutura, deverão estar isentos de matéria orgânica e outras impurezas, e deverão apresentar expansividade inferior a 2,0%, que pode ser determinado através do ensaio de CBR (Figura 18).

Índice de plasticidade: O solo a ser aplicado como aterro ao tardo de deverá possuir um índice de plasticidade menor que 7 e possuir capacidade mecânica resistente superior a forças de compressão e empuxo atuantes na estrutura.

E por fim o solo a ser utilizado como preenchimento do elemento MacSoil[®] deverá ser compactado em camadas com espessura máxima acabada de 25 cm (Figura 20), até atingir o grau de compactação mínima de 98% em relação à energia normal de compactação (Figura 21).

Outra opção para o preenchimento da peça de MacSoil[®] é a utilização de solo compactado com RCD, ou seja, o material de preenchimento se tornaria uma mescla de resíduo com solo compactado, aumentando assim o peso final da estrutura, pois haveria uma redução considerável de vazios na peça, já que estes seriam ocupados pelas partículas de solo. Para esta aplicação o procedimento de compactação do preenchimento deverá respeitar os seguintes passos:

1° Preenchimento da peça com elementos de RCD de grandes volumes

2° Preenchimento da peça com elementos de RCD de pequenos volumes

3° Preenchimento da peça com uma camada de solo

4° Todas as camadas supracitadas nos itens 1°,2° e 3° deverão somar uma altura de 25cm

5° A camada constituída de RCD e solo deverá ser compactada pelos métodos manuais (apiloamento ou sapinhos)

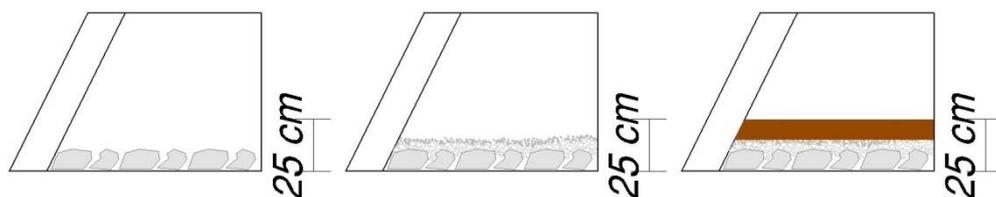


Figura 26. Passos da compactação do RCD com solo

4.4. Solo de preenchimento da face

O solo de preenchimento da face da estrutura MacSoil[®], possui a função de berço para o crescimento das vegetações que crescerão sobre o paramento frontal. O solo vegetal deve ser rico em matéria orgânica, restos de plantas decompostos, como

folhas, caules e cascas. Embora contenha naturalmente alguns nutrientes, o solo vegetal serve basicamente como a “cama” das raízes; para que a planta desenvolva-se em sua plenitude, é essencial que se misture (obedecendo aos traços próprios de cada espécie de planta) um bom substrato.



Figura 27. Solo vegetal na face frontal

Para a utilização de vegetação em mudas no MacSoil®, deverá ser realizada uma abertura na geomanta da face da estrutura, sendo que o perímetro desta abertura deve ser limitado pelo hexágono da malha dupla torção e posteriormente ser retirado uma quantidade de solo para a colocação da muda (Figura 28). A abertura supracitada faz referência apenas a geomanta sendo que a malha hexagonal dupla torção não deverá sofrer nenhum dano neste processo.



Figura 28. Mudanças na face frontal do MacSoil®



Figura 29. Crescimento da vegetação depois de 8 meses

5. Geometria da solução

A solução MacSoil® possui basicamente dois tipos de geometrias, a primeira geometria é constituída somente da peça MacSoil®, com seu respectivo preenchimento, para esta estrutura podem ser validados todos os preenchimentos citados no item 4.3, ou seja a estrutura poderá ser preenchida por rachão, RCD ou solo compactado, desde que a altura da seção não ultrapasse os **2m** (Figura 30).

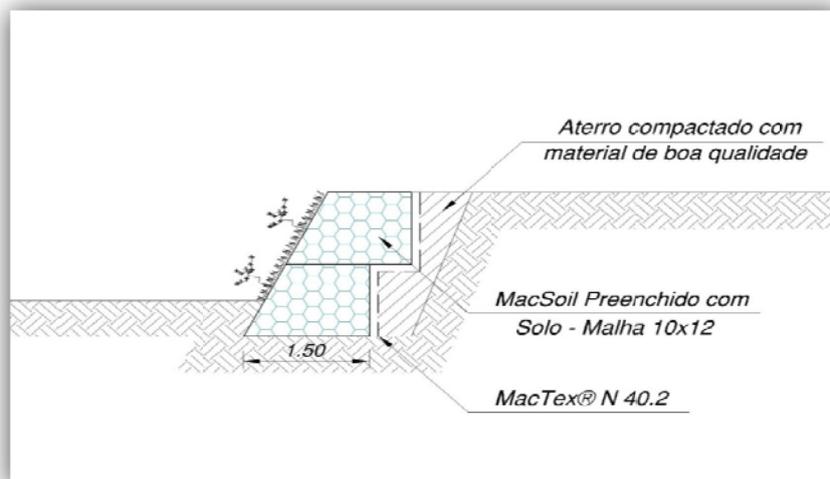


Figura 30. Exemplo de seção do MacSoil®

O MacSoil® pode ser utilizado também para desníveis de 3 e 4m, porém para estas aplicações a estrutura deverá possuir uma configuração mais robusta, onde são acrescentadas peças de MacSoil base®, acopladas nas faces posteriores das peças de MacSoil® (Figura 31), criando assim um acréscimo no peso final da estrutura, a fim de garantir sua estabilidade frente aos esforços atuantes na mesma, oriundos do empuxo e de sobrecargas. Além da necessidade das peças de MacSoil base® que deverão fazer parte da configuração final da estrutura, é determinada também uma limitante em relação ao preenchimento da solução, ou seja para estruturas com alturas de 3 e 4m, deverão ser preenchidas somente por RCD ou por rachão, não sendo assim permitido, nestes casos, o uso de solo compactado para o material de preenchimento.

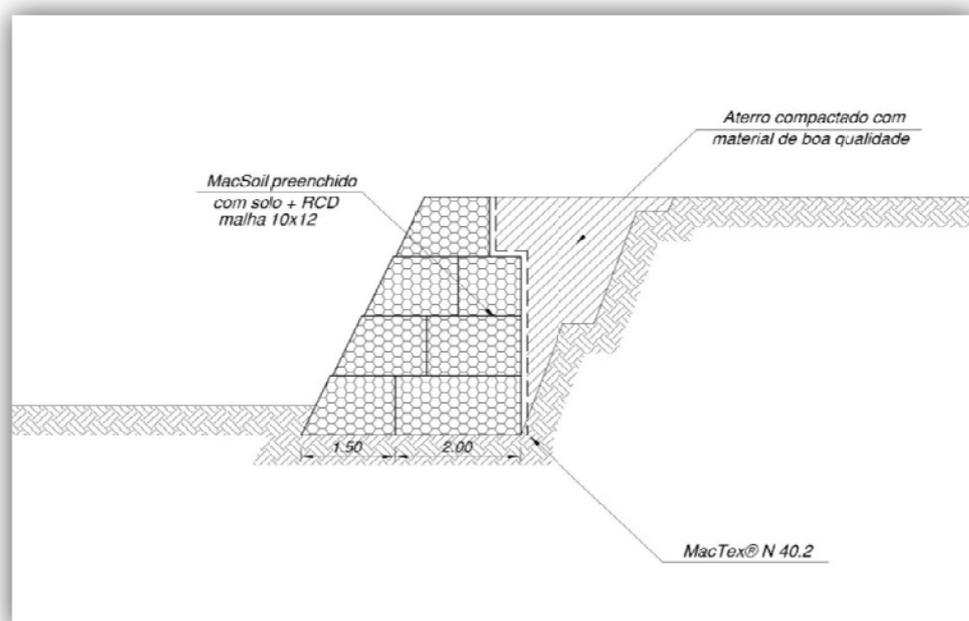
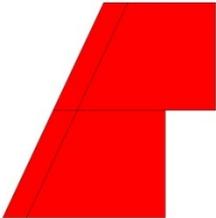
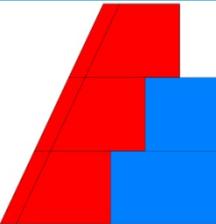
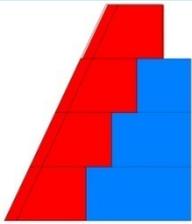


Figura 31. Exemplo de seção do MacSoil® com MacSoil base®

Na Tabela 5 temos um resumo de geometrias em função da altura da seção, especificando assim os tipos de materiais de preenchimento que podem ser utilizados para cada valor de altura e configuração da solução

Tabela 5. Configurações das seções de MacSoil®

CONFIGURAÇÃO	ALTURAS	PREENCHIMENTO
	1m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo compactado ✓ RCD ✓ Pedra rachão
	2m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solo compactado ✓ RCD ✓ Pedra rachão
	3m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ RCD ✓ Pedra rachão
	4m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ RCD ✓ Pedra rachão



Para todas as situações apresentadas na Tabela 5, deverá ser realizada, um engastamento mínimo de 30cm a 50cm, pois com este processo é retirada a camada superficial do solo e obrigatoriamente é executada uma limpeza do mesmo, a fim de apoiar a estrutura em uma camada de melhor capacidade de suporte. A estrutura deverá ser apoiada em uma fundação competente e compatível com o nível de carregamento aplicado, pois as análises de estabilidade feitas prevêem a aplicação deste tipo de estrutura em terrenos passíveis de baixos carregamentos.

6. Sobrecargas

A estrutura é composta de malha hexagonal com preenchimento de solo, RCD ou pedra rachão, caso seja aplicada uma sobrecarga no MacSoil® que ultrapasse a resistência da peça, ocorrerá um rearranjo dos elementos que podem resultar em deformações.

Para as seções com alturas de 1 e 2m, deverá ser respeitado uma faixa de 1,10m da face da estrutura (Figura 32), para execução de edificações ou vias pavimentadas, esta distância tem a função de impossibilitar um diferencial de resistência na transição do trecho MacSoil® e solo de aterro, para que não ocorra nenhum tipo de fissura ou recalque diferencial neste ponto.

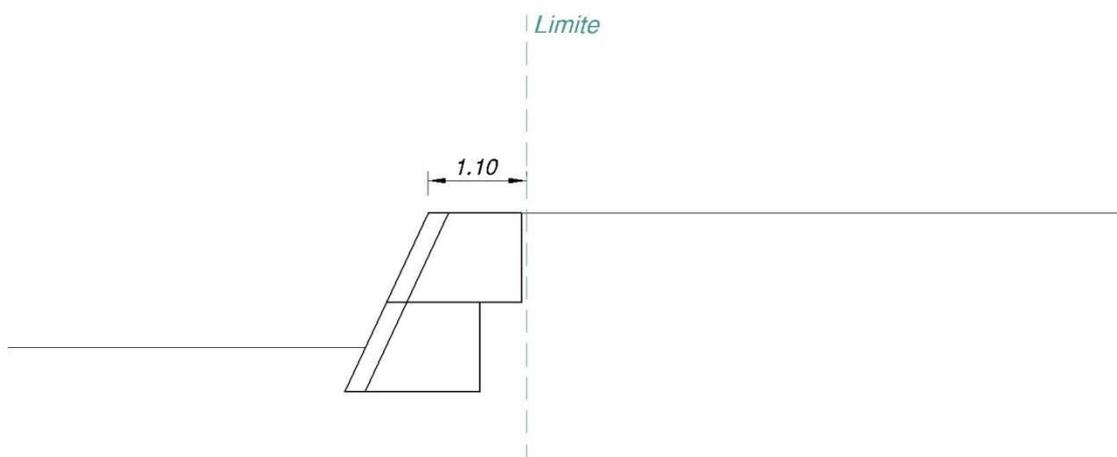


Figura 32. Faixa limite

Para seções de 3 ou 4m, a distância a ser respeitada para edificações é de 1.60m da face do MacSoil® (Figura 33).

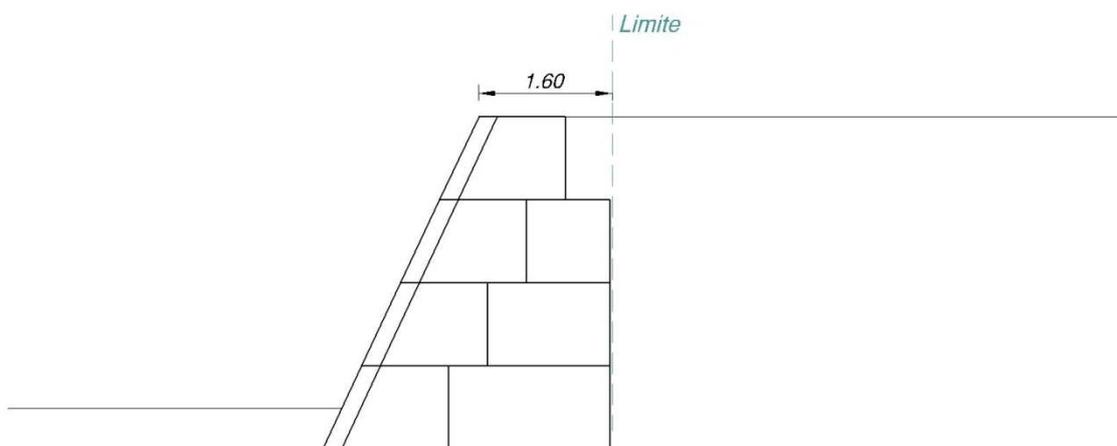


Figura 33. Faixa limite

7. Dúvidas freqüentes.

- ✓ *Posso usar solo local como aterro estrutural da peça MacSoil®?*

Sim, desde que o solo local apresente um índice de plasticidade menor que 7 e possua capacidade mecânica resistente superior a forças de compressão e empuxo atuantes na estrutura.

- ✓ *Posso usar o mesmo solo na caixa e na frente?*

O solo aplicado no paramento frontal da estrutura possui substâncias orgânicas que servem de alimento para o crescimento das vegetações, caso o solo de preenchimento da caixa possua as mesmas substâncias supracitadas, o mesmo poderá ser utilizado no paramento frontal do MacSoil®.

- ✓ *Preciso compactar o solo? Como?*

Sim, o solo deve ser compactado dentro da malha dupla torção, a fim de diminuir os espaços vazios do maciço deixando-o mais coeso, aumentando assim suas resistências mecânicas, contra os esforços oriundos das sobrecargas e do empuxo. Para esta compactação deverão ser utilizados os métodos manuais, apiloamento ou os compactadores mais conhecidos como “sapinhos”.

- ✓ *O que deve ter no solo vegetal?*

O solo vegetal deve ser rico em matéria orgânica, restos de plantas decompostos, como folhas, caules e cascas. Embora contenha naturalmente alguns nutrientes, o solo vegetal serve basicamente como a “cama” das raízes; para que a planta desenvolva-se em sua plenitude, é essencial que se misture (obedecendo aos traços próprios de cada espécie de planta) um bom substrato.

- ✓ *O geossintético pode vir de outras cores?*

Sim, Marrom, preto ou verde.

- ✓ *O geossintético pega fogo?*

O geossintético pega fogo caso seja inflamado por um segundo corpo, porém as chamas aplicadas no geossintético não se propagam, o que agrega uma maior segurança ao revestimento.

✓ *Posso usar vegetação em mudas?*

Sim, para a utilização de vegetação em mudas no MacSoil®, deverá ser realizada uma abertura na geomanta da face da estrutura, sendo que o perímetro desta abertura deve ser limitado pelo hexágono da malha dupla torção e posteriormente ser retirado uma quantidade de solo para a colocação da muda. A abertura supracitada faz referência apenas a geomanta sendo que a malha hexagonal dupla torção não deverá sofrer nenhum dano neste processo.

✓ *É necessário o uso de geotêxtil atrás ou na frente?*

Caso a estrutura seja totalmente preenchida com solo só será aplicado geotêxtil entre o solo de preenchimento da peça e sua face vegetal.

Caso a estrutura seja preenchida com RCD ou pedra rachão, deverá ser aplicado o filtro geotêxtil entre o preenchimento estrutural e a face vegetal, e também na face posterior da peça MacSoil®, onde acontece o contato do solo de aterro com o preenchimento.

✓ *Posso usar placa de grama? Como?*

Sim, a grama pode ser utilizada como revestimento frontal, desde a mesma seja instalada na interface do solo vegetal com a geomanta, com isso teremos uma fixação da placa que será travada pelo atrito gerado por estas superfícies de contato.

✓ *Qual a grama indicada para aplicação?*

A grama amendoim é indicada para superfícies inclinadas, pois tem raízes bem fortes para sustentar a inclinação de terra, porém para a determinação da grama mais indicada, deverá ser levado em consideração às variações dos climas encontrados em cada região.

✓ *Posso podar a vegetação?*

Sim, a vegetação pode ser podada. A malha hexagonal dupla torção não deverá sofrer nenhum dano (corte ou raspagem) proveniente deste processo.

✓ *Caso seja utilizado RCD, como deverá ser realizada sua compactação?*

Deverá ser realizada uma compactação por camadas de transição granulométricas, o processo será o seguinte:

1° Preenchimento da peça com elementos de RCD de volume maior

2° Preenchimento da peça com elementos de RCD de volume menor

3° Preenchimento da peça com uma camada de solo

4° Todas as camadas supracitadas nos itens 1°, 2° e 3° deverão somar uma altura máxima de 25cm

5° A camada constituída de RCD e solo deverá ser compactada pelos métodos de apiloamento, ou por compactadores manuais, mais conhecidos como “Sapinhos”.

✓ *Quais os limites de plasticidade do solo de enchimento?*

Quanto maior o IP mais deformável será o solo, portanto recomenda-se que o IP seja menor que 7.

✓ *Há perigo da estrutura se deformar caso seja carregada na parte superior?*

Sim, a estrutura é composta de malha hexagonal com preenchimento de solo ou RCD, caso seja aplicada uma sobrecarga no MacSoil® que ultrapasse a resistência estática da peça, ocorrerá um rearranjo dos elementos que podem resultar em deformações.

✓ *Qual o limite máximo de altura com preenchimento em solo?*

A altura máxima para o MacSoil® preenchido com solo é de 2m. Caso a estrutura seja preenchida com RCD ou rachão poderá ser projetada a uma altura máxima de 4m, porém deverá possuir em sua geometria o MacSoil Base®, que aumentará o peso da contenção e também a área de distribuição de tensões na base da estrutura.

✓ *É necessário ter adubo no solo vegetal?*

Não, se o solo vegetal já possuir material orgânico para o crescimento da vegetação, a adubação não é necessária. Caso o solo não possua o material orgânico, que servirá de alimento para a vegetação, deverá ser realizada uma adubação no mesmo, a fim de acrescentar estes materiais em sua composição.

✓ *Posso utilizar o MacSoil junto com o gabião?*

Sim, o MacSoil® pode ser utilizado junto com a estrutura de gabião, porém deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

Caso o MacSoil® seja preenchido com solo, o mesmo dificultará a saída da água pela face da estrutura, portanto deverá ser previsto um dreno na base do gabião, a fim de encaminhar a água que possa ser acumulada.

Caso o MacSoil® seja preenchido com solo, deverá ser aplicado filtro geotêxtil na interface do MacSoil® com o gabião.

✓ *A estrutura deve estar engastada? Quanto?*

Sim, é indicado que seja realizado um engastamento mínimo de 30cm a 50cm, pois com este processo representa a retirada da camada superficial do solo e obrigatoriamente a limpeza do mesmo, a fim de apoiar a estrutura em uma camada de melhor capacidade de suporte.

✓ *Posso mudar a abertura da malha ou coloração do PVC?*

Sim, estas alterações podem ser realizadas, mediante a uma consulta prévia com a Maccaferri.

✓ *Pode ser confeccionado com biomanta no paramento frontal?*

Não, a patente do MacSoil® é constituída de Malha Hexagonal dupla torção e Geomanta, estes materiais não podem ser substituídos por similares.

✓ *Qual tipo de fundação deve ser apoiada?*

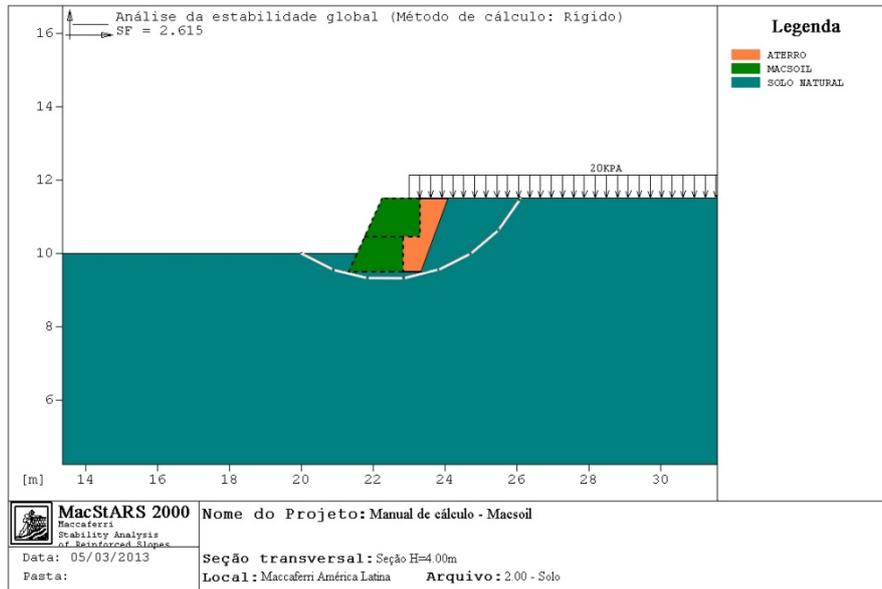
Fundação competente e compatível com o nível de carregamento aplicado, pois os estudos de estabilidade feitos prevêm a aplicação deste tipo de estrutura em terrenos passíveis de baixos carregamentos.

✓ *Qual a importância da malha hexagonal em dupla torção?*

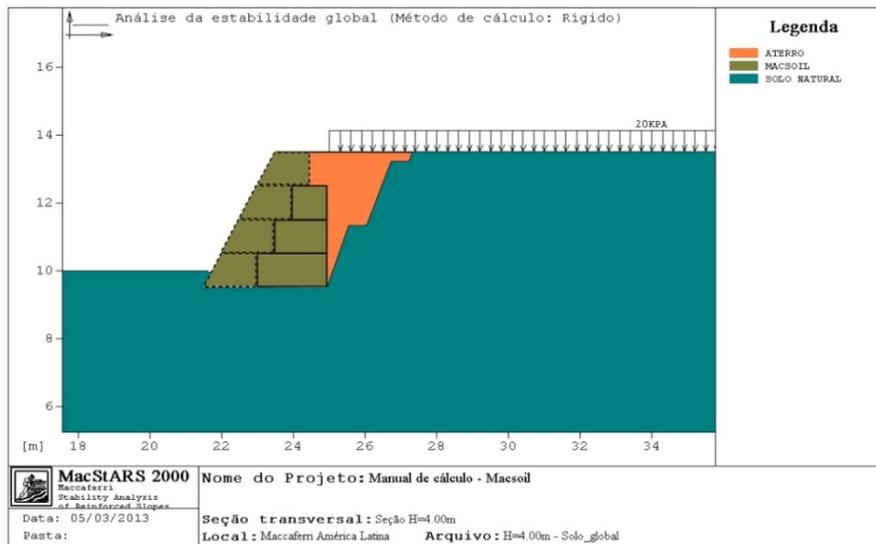
Nas análises feitas a coesão prevista no material de preenchimento, vêm de encontro com a resistência a tração da malha, e caso essa não esteja presente ou fora dos limites previstos pela Maccaferri esse tipo de contenção não será viabilizado e poderá sofrer colapso.

8. Exemplos de cálculos

Cálculos realizados com ajuda do Software Macstars.



Exemplo 1. Estrutura de Macsoil® preenchida com solo compactado



Exemplo 2. Estrutura de Macsoil base® acoplada no MacSoil® preenchida com solo compactado

