

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gustavo Vasconcelos Flores

**MÓDULO EM CONCRETO PARA PREENCHIMENTO DE
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO: COMPARAÇÃO COM O
PREENCHIMENTO COM BRITA**

Porto Alegre
junho 2015

GUSTAVO VASCONCELOS FLORES

**MÓDULO EM CONCRETO PARA PREENCHIMENTO DE
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO: COMPARAÇÃO COM O
PREENCHIMENTO COM BRITA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Dr. Fernando Dornelles

Porto Alegre
junho 2015

GUSTAVO VASCONCELOS FLORES

**MÓDULO EM CONCRETO PARA PREENCHIMENTO DE
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO: COMPARAÇÃO COM O
PREENCHIMENTO COM BRITA SUBTÍTULO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelos Coordenadores da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2015

Prof. Fernando Dornelles
Dr. pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

Prof. Jean Marie Désir
Dr. pela COPPE/UFRJ
Coordenador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Dornelles (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra (UFRGS)
Dra. pelo PPGA da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Fernando Mainardi Fan (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Valeska, que sempre me apoiou e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Fernando Dornelles, orientador deste trabalho, pelos conhecimentos transmitidos e que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelo empenho dedicado e pelas críticas construtivas, as quais contribuíram para a elaboração de um trabalho consistente.

Agradeço à minha família, em especial a minha mãe.

Agradeço a todos os amigos que de alguma maneira me ajudaram na elaboração deste trabalho.

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados
pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação, quanto aos aspectos econômicos, hidrológicos e executivos, entre dois tipos de preenchimento de trincheiras de infiltração: o tradicional, realizado com material granular graúdo, como a brita, e o com módulos em concreto. A partir da revisão da literatura, percebeu-se uma carência de alternativas de baixo custo para o preenchimento de trincheiras de infiltração. A primeira etapa do trabalho apresenta algumas soluções adotadas para o controle do escoamento superficial gerado nos lotes e trata das técnicas utilizadas no dimensionamento e execução das mesmas. Observou-se que a utilização de materiais de alta porosidade está muito restrita aos materiais plásticos, como o polipropileno, os quais não se enquadram na realidade brasileira, devido ao alto custo. Desta forma, a segunda etapa consiste do projeto estrutural de um módulo de concreto a ser utilizado no preenchimento das trincheiras de infiltração. A estrutura projetada assemelha-se a uma pequena galeria, ou seja, a um bloco de concreto armado totalmente vazado e, portanto, de alta porosidade. Posteriormente, foi feita a comparação entre o módulo projetado e o preenchimento tradicional com brita. Para tanto, calcularam-se as dimensões de uma trincheira que fosse hidráulicamente equivalente a uma preenchida com um único módulo de concreto. Além disso, apresenta-se nessa etapa também o levantamento de quantitativos e orçamento de cada um dos dois tipos de preenchimento, bem como a verificação do método de execução das trincheiras e de seus respectivos preenchimentos. Logo após, está a análise dos resultados obtidos sobre a comparação das alternativas. Complementarmente, foi feita uma breve estimativa de custo do preenchimento com módulos D-Raintank[®] e uma análise comparativa com os outros dois preenchimentos estudados. Constatou-se que os custos de confecção do módulo de concreto e de execução da trincheira são maiores que os referentes ao preenchimento tradicional, mas muito inferiores ao do preenchimento com os módulos D-Raintank[®]. Ainda, verificou-se uma potencial dificuldade na execução do módulo de concreto, especialmente quando da opção por moldagem em obra. Por fim, fizeram-se ponderações pertinentes aos resultados com sugestões de tópicos a serem estudados a fim de se obter um melhor aproveitamento econômico e executivo do preenchimento de trincheiras de infiltração com módulos em concreto.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Trincheira de infiltração. Módulo em concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do trabalho de diplomação.....	22
Figura 2 – Esquema de utilização de trincheiras.....	27
Figura 3 – Ecodreno aplicado em reservatório permeável.....	29
Figura 4 – Módulo Nidaplast® EP em polipropileno.....	29
Figura 5 – Módulo Atlantis D-Raintank® em polipropileno.....	30
Figura 6 – Redução da capacidade de armazenamento no caso de grandes declividades	31
Figura 7 – Módulo de concreto para uso em trincheiras de infiltração.....	37
Figura 8 – Dimensões externas do módulo de concreto.....	38
Figura 9 – Dimensões internas do módulo de concreto.....	39
Figura 10 – Vinculações entre as lajes do módulo de concreto.....	41
Figura 11 – Variáveis determinantes do vão efetivo de uma laje de concreto.....	41
Figura 12 – Esquema de ações nas lajes do módulo.....	42
Figura 13 – Vinculações e vãos teóricos.....	46
Figura 14 – Momentos fletores no módulo vazio.....	49
Figura 15 – Momentos fletores no módulo cheio.....	49
Figura 16 – Momentos finais no módulo vazio.....	52
Figura 17 – Momentos finais no módulo cheio.....	53
Figura 18 – Espaçamento entre os furos da parede lateral do módulo.....	56
Figura 19 – Disposição da manta geotêxtil na trincheira.....	60
Figura 20 – Manta geotêxtil estendida no plano.....	61
Figura 21 – Vista em corte de uma trincheira de infiltração preenchida com módulos em concreto.....	64
Figura 22 – Manta geotêxtil estendida no plano (usado com o módulo).....	66
Figura 23 – Resultados em termos de custo da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com um módulo em concreto.....	71
Figura 24 – Resultados em termos de custo total da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com um módulo em concreto.....	71
Figura 25 – Resultados em termos de custo da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com cinco módulos em concreto.....	75
Figura 26 – Resultados em termos de custo total da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com cinco módulos em concreto.....	75
Figura 27 – Resultados em termos de custo total da execução de três tipos de preenchimento de trincheiras para três trincheiras de tamanho diferentes.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vãos efetivos das lajes do módulo de concreto.....	42
Tabela 2 – Características das lajes.....	47
Tabela 3 – Momentos fletores no módulo vazio.....	47
Tabela 4 – Momentos fletores no módulo cheio.....	48
Tabela 5 – Dimensionamento das armaduras para o módulo vazio.....	55
Tabela 6 – Dimensionamento das armaduras para o módulo cheio.....	55
Tabela 7 – Áreas de armadura por unidade de comprimento (cm ² /m) para diferentes bitolas e espaçamentos.....	56
Tabela 8 – Quantitativos para a trincheira preenchida com brita.....	62
Tabela 9 – Orçamento da trincheira preenchida com brita.....	63
Tabela 10 – Quantitativos para a trincheira preenchida com um módulo.....	69
Tabela 11 – Orçamento da trincheira preenchida com um módulo.....	70
Tabela 12 – Quantitativos para a trincheira de 5 metros preenchida com brita.....	72
Tabela 13 – Quantitativos para a trincheira preenchida com cinco módulos.....	73
Tabela 14 – Orçamento da trincheira de 5 metros preenchida com brita.....	73
Tabela 15 – Orçamento da trincheira preenchida com cinco módulos.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.....	32
---	----

LISTA DE SIGLAS

PDDrU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

LISTA DE SÍMBOLOS

T_r – tempo de retorno (anos)

I – infiltração acumulada (m^3/m^2)

C – sortividade ($m^3/s/m^2$)

t – tempo (s)

$A_{INF, EF}$ – área efetiva de infiltração (m^2)

L – comprimento da trincheira (m)

H – altura útil da trincheira (m)

V_{INF} – volume infiltrado (m^3)

$V_{ARM, T}$ – volume máximo armazenável na trincheira (m^3)

B – largura da trincheira (m)

V_{ARM} – capacidade de armazenamento hidráulico (m^3)

V_{FUROS} – volume dos furos (m^3)

l_{ef} – vão efetivo da laje (m)

l_o – distância entre os apoios (m)

a_1 – menor valor entre $t_1/2$ e $0,3h$ (m)

t_1 – espessura do apoio da laje (m)

a_2 – menor valor entre $t_2/2$ e $0,3h$ (m)

t_2 – espessura do apoio da laje (m)

h – espessura da laje (m)

q_T – carga resultante na tampa para o módulo vazio (kN/m^2)

PP_P – peso próprio das paredes do módulo (kN/m²)

q_F – carga resultante na laje do fundo para o módulo vazio (kN/m²)

A_T – área da tampa (m²)

A_P – área das paredes (m²)

PP_F – peso próprio da laje do fundo (kN/m²)

A_F – área da laje do fundo (m²)

$q_{P, base}$ – empuxo do solo na base do módulo (kN/m²)

K_a – coeficiente de empuxo ativo do solo

γ_s – peso específico do solo (kN/m³)

h_P – altura da parede (m)

Q_F – carga resultante na laje do fundo para o módulo cheio (kN/m²)

γ_A – peso específico da água (kN/m³)

$Q_{P, base}$ – pressão hidrostática na base da parede (kN/m²)

h' – altura útil do módulo (m)

m – momento fletor (kNm/m)

μ – fator de multiplicação tabelado

P – carga atuante na laje (kN/m²)

l – menor vão da laje (m)

l_y, l_x, l_a e l_b – vãos teóricos das lajes (m)

$\mu_x, \mu_y, \mu_y', \mu_{yi}'$ e μ_{ys}' – fatores de multiplicação tabelados

m_x – momento fletor na direção x (kNm/m)

m_y e m_y' – momentos fletores na direção y (kNm/m)

m_{yi}' e m_{ys}' – momentos fletores inferior e superior na direção y (kNm/m)

$Y_{FP, V}$ – momento negativo na ligação fundo-parede, reservatório vazio (kNm/m)

$Y_{TP, V}$ – momento negativo na ligação tampa-parede, reservatório vazio (kNm/m)

$Y_{FP, C}$ – momento negativo na ligação fundo-parede, reservatório cheio (kNm/m)

$Y_{TP, C}$ – momento negativo na ligação tampa-parede, reservatório cheio (kNm/m)

d – altura útil da laje (cm)

c – cobrimento de armadura (cm)

x – altura da linha neutra (cm)

m_d – momento fletor de projeto (kNm)

m_k – momento fletor compatibilidade (kNm)

α_c – parâmetro de redução da resistência do concreto à compressão

f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão

γ_c – coeficiente de segurança do concreto

b – largura de uma seção retangular de laje (cm)

A_S – armadura necessária calculada (cm²)

f_{yk} – resistência característica do aço à tração

f_{yd} – resistência de cálculo do aço à tração

$\gamma_{aço}$ – coeficiente de segurança do aço

$A_{S, min}$ – armadura mínima necessária (cm²)

M_k – momento fletor atuante na laje (kNm/m)

M_d – momento fletor de cálculo (kNm/m)

$A_{S, \text{ adot}}$ – área da seção transversal de armadura adotada (cm²)

V_{ESC} – volume a ser escavado (m³)

C_v – comprimento da vala (m)

L_v – largura da vala (m)

P_v – profundidade da vala (m)

A_G – área de geotêxtil (m²)

V_{BRI} – volume de brita (m³)

V_{MOD} – volume ocupado por um módulo de concreto (m³)

V_{CON} – volume de concreto necessário para confecção de um módulo (m³)

$Q_{B, 4,2}$ – quantidade de barras de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm (kg)

$Q_{B, 4,6}$ – quantidade de barras de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm (kg)

$N_{B, 4,2}$ – número de barras de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm utilizadas em uma laje

$N_{B, 4,6}$ – número de barras de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm utilizadas em uma laje

$P_{B, 4,2}$ – peso por metro de barra de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm (kg/m)

$P_{B, 4,6}$ – peso por metro de barra de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm (kg/m)

A_{FORMAS} – área de forma necessária para confecção de um módulo (m²)

A_{EP} – área da face externa da parede do módulo (m²)

A_{EF} – área da face externa do fundo do módulo (m²)

A_{IP} – área da face interna da parede do módulo (m²)

A_{IF} – área da face interna do fundo do módulo (m^2)

C_{TUBOS} – comprimento total de tubo PVC (m)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	20
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	20
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	20
2.2.1 Objetivo principal	20
2.2.2 Objetivo secundário	20
2.3 HIPÓTESE.....	21
2.4 PRESSUPOSTO.....	21
2.5 PREMISSA.....	21
2.6 DELIMITAÇÕES.....	21
2.7 LIMITAÇÕES.....	21
2.8 DELINEAMENTO.....	22
2.8.1 Pesquisa bibliográfica	22
2.8.2 Projeto do módulo de concreto	23
2.8.3 Dimensionamento da trincheira comparativa	23
2.8.4 Verificação do método construtivo das trincheiras	23
2.8.5 Levantamento de quantitativos e orçamento	23
2.8.6 Análise dos resultados	24
2.8.7 Considerações finais	24
3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS	25
3.1 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO.....	26
3.1.1 Alternativas ao preenchimento de trincheiras	28
3.1.1.1 Edocreno.....	28
3.1.1.2 Nidaplast®	29
3.1.1.3 Atlantis D-Raintank®	30
3.1.2 Concepção das trincheiras de infiltração	30
3.1.3 Dimensionamento hidráulico das trincheiras	32
3.1.3.1 Escolha do risco hidrológico.....	32
3.1.3.2 Escolha das dimensões iniciais.....	33
3.1.3.3 Determinação da vazão de descarga.....	33
3.1.3.4 Verificação do volume inicial quanto à infiltração.....	33
3.1.4 Implantação das trincheiras	35
3.1.4.1 Cuidados com as áreas no entorno.....	35

3.1.4.2 Instalação de geotêxtil e geomembranas.....	36
4 MÓDULO EM CONCRETO.....	37
4.1 DIMENSÕES INICIAIS.....	37
4.2 RELAÇÕES ENTRE OS LADOS DAS LAJES.....	40
4.3 VINCULAÇÕES.....	40
4.4 VÃOS EFETIVOS NAS LAJES.....	41
4.5 CARGAS NAS LAJES.....	42
4.5.1 Cargas na tampa.....	43
4.5.2 Cargas no fundo (módulo vazio).....	43
4.5.3 Cargas nas paredes (módulo vazio).....	44
4.5.4 Cargas no fundo (módulo cheio).....	44
4.5.5 Cargas nas paredes (módulo cheio).....	45
4.6 ESFORÇOS NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	45
4.7 REPRESENTAÇÃO DOS MOMENTOS NAS LAJES.....	48
4.8 COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS.....	50
4.8.1 Ligação fundo-parede para o módulo vazio.....	50
4.8.2 Ligação tampa-parede para o módulo vazio.....	50
4.8.3 Ligação fundo-parede para o módulo cheio.....	50
4.8.4 Ligação tampa-parede para o módulo cheio.....	50
4.9 CORREÇÃO DOS MOMENTOS.....	51
4.10 MOMENTOS FINAIS NO MÓDULO.....	52
4.11 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS.....	53
4.11.1 Posicionamento, diâmetros e espaçamento entre armaduras.....	55
4.12 CONSIDERAÇÕES.....	57
5 COMPARAÇÃO ENTRE OS PREENCHIMENTOS.....	58
5.1 PREENCHIMENTO COM BRITA.....	58
5.1.1 Execução.....	58
5.1.2 Quantitativos.....	59
5.1.2.1 Escavação.....	59
5.1.2.2 Manta geotêxtil.....	60
5.1.2.3 Brita.....	61
5.1.2.4 Mão de obra.....	62
5.1.3 Orçamento.....	62
5.2 PREENCHIMENTO COM O MÓDULO DE CONCRETO.....	63
5.2.1 Execução.....	63

5.2.2 Quantitativos	65
5.2.2.1 Escavação.....	65
5.2.2.2 Manta geotêxtil.....	65
5.2.2.3 Brita.....	66
5.2.2.4 Concreto.....	67
5.2.2.5 Armaduras.....	67
5.2.2.6 Formas.....	68
5.2.2.7 Tubos de PVC.....	68
5.2.2.8 Mão de obra.....	69
5.2.3 Orçamento	69
5.3 RESULTADOS	70
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE TRINCHEIRAS MAIORES	72
5.5 RESULTADOS DA SEGUNDA COMPARAÇÃO	74
5.6 PREENCHIMENTO COM MÓDULOS D-RAINTANK[®]	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	78
ANEXO A – Tabela de Lajes	80

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das grandes cidades ocorre, muitas vezes, de maneira desordenada e/ou mal planejada. Uma das grandes consequências disso são os problemas relacionados à drenagem pluvial urbana. Sempre que ocorre a ocupação de um local, seja com edificações, seja com estradas, áreas impermeáveis são criadas sobre o solo. Isto é, onde antes ocorria a infiltração de águas pluviais, agora estas passam a escoar superficialmente.

Por si só, o escoamento superficial oriundo de um lote não representa necessariamente um problema para a rede de drenagem. Entretanto, o volume de água pluvial lançado por uma grande quantidade de lotes ou loteamentos no sistema de drenagem pode representar, especialmente quando a rede encontra-se perto do seu limite drenante, dando origem a transtornos à população devido aos alagamentos causados.

É comum que uma rede coletora de águas pluviais tenha sido dimensionada para receber certa quantidade de água e, após alguns anos, esse volume tenha aumentado significativamente devido à expansão urbana. Esta nova contribuição volumétrica talvez não seja capaz de ser escoada integralmente através das tubulações da rede sem causar alagamentos a montante.

Desta forma, as soluções que apenas visam à ampliação da capacidade de condução do escoamento não constituem as melhores alternativas para contornar o problema. O custo de execução deste tipo de obra é relativamente alto – talvez maior que o custo do projeto original – e, ao mesmo tempo, ocasiona transtornos urbanos, com bloqueio de ruas e avenidas.

Com isso em vista, começaram a surgir medidas de controle do escoamento pluvial que atuam nas próprias áreas onde este é gerado, as chamadas técnicas de controle na fonte. Um dos dispositivos utilizados é a trincheira de infiltração preenchida com brita e revestida com manta geotêxtil, sendo este eficaz no controle do escoamento superficial e de fácil execução, mas que deixa a desejar quanto ao aproveitamento do volume de armazenamento das águas pluviais devido à pouca porosidade da brita. Por esta razão, este trabalho verifica a utilização de módulos em concreto como alternativa a essas trincheiras, assumindo que o desempenho no controle do escoamento pluvial será mantido o mesmo, isto é, o volume armazenado nos módulos será igual ao armazenado na trincheira preenchida com brita.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais os resultados em termos de custo da utilização de módulos de concreto em trincheiras de infiltração quando comparadas àquelas preenchidas com brita?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação dos resultados da utilização de módulos de concreto em trincheiras de infiltração comparativamente às preenchidas com brita, sob os pontos de vista econômico, hidrológico e construtivo.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é:

- a) verificação do método construtivo a ser empregado na execução do módulo de concreto.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o módulo de concreto estudado possui custo de construção inferior ao de uma trincheira preenchida com brita e requer menor espaço para instalação devido à sua maior porosidade.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressupostos que a substituição do preenchimento com brita de uma trincheira de infiltração por um elemento em concreto manterá o desempenho no controle do escoamento pluvial e que os furos no módulo não interferem no cálculo estrutural, por serem pequenos demais.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que, no meio urbano, o escoamento superficial gerado nos lotes e transferido para jusante, em larga escala, é o causador de uma série de transtornos para a população e, portanto, ele deve ser controlado na fonte geradora.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de um módulo de concreto para configuração de trincheiras de infiltração.

2.7 LIMITAÇÕES

É limitação do trabalho:

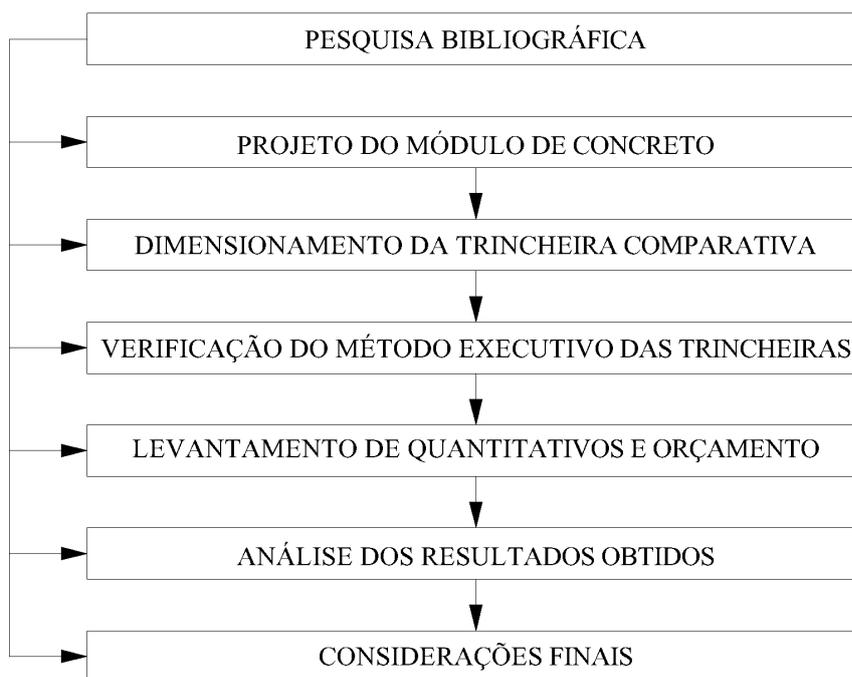
- a) a verificação do método construtivo do módulo apenas por estimativa teórica, excluindo-se a prática;

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na Figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) projeto do módulo de concreto;
- c) dimensionamento da trincheira comparativa;
- d) verificação do método executivo das trincheiras;
- e) levantamento de quantitativos e orçamento;
- f) análise dos resultados obtidos;
- g) considerações finais.

Figura 1 – Etapas do trabalho de diplomação



(fonte: elaborado pelo autor)

2.8.1 Pesquisa bibliográfica

Uma vez estabelecido o tema, teve início a pesquisa bibliográfica. Nesta etapa foram obtidos dados e informações sobre:

- a) ciclo hidrológico;
- b) drenagem urbana;
- c) trincheiras de infiltração;
- d) dimensionamento de dispositivos de controle pluvial;
- e) dimensionamento de estruturas de concreto armado.

2.8.2 Projeto do módulo de concreto

Após, deu-se início ao projeto do módulo de concreto. Levou-se em consideração para o cálculo estrutural as recomendações citadas na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

2.8.3 Dimensionamento da trincheira comparativa

Esta etapa teve como foco a verificação do tamanho que uma trincheira de infiltração preenchida com brita deveria possuir para que pudesse armazenar temporariamente o mesmo volume de água que uma preenchida com um único módulo. Posteriormente fez-se a mesma verificação para o caso de uma trincheira de infiltração preenchida com cinco módulos.

2.8.4 Verificação do método construtivo das trincheiras

Concluídas as etapas de dimensionamento das trincheiras, fez-se a verificação do método construtivo a ser empregado em cada uma delas, com atenção especial à preenchida com o módulo, que se mostrou ser mais complicada.

2.8.5 Levantamento de quantitativos e orçamento

Após, foi feito o levantamento de materiais e mão de obra necessários para a execução das trincheiras, bem como o orçamento de cada uma delas.

2.8.6 Análise dos resultados obtidos

Os orçamentos obtidos para cada trincheira foram comparados entre si, permitindo que conclusões preliminares fossem feitas, bem como sugestões de novas análises, com alteração na geometria das trincheiras.

2.8.7 Considerações finais

Por fim, foram feitas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

O processo de urbanização que ocorre de maneira intensa em inúmeras cidades tem evidenciado cada vez mais as limitações das soluções clássicas adotadas na drenagem urbana. Conforme Baptista et al. (2005), “ao transferir para jusante os problemas de inundação, a tendência é que as novas áreas urbanizadas provoquem alagamentos mais frequentes em áreas de urbanização mais antigas.”.

Segundo Tucci (2013, p. 809),

A ocupação da bacia hidrográfica tende a ocorrer no sentido de jusante para montante, devido às características do relevo. Quando o poder público não controla a urbanização indisciplinada das cabeceiras da bacia ou não amplia a capacidade de macrodrenagem, a frequência das enchentes aumenta significativamente, provocando a desvalorização de propriedades e prejuízos periódicos. Nesse processo, a população localizada a jusante, sofre as piores consequências, em razão da ocupação a montante.

As soluções mais frequentemente adotadas no Brasil são as soluções clássicas, constituídas de dispositivos de microdrenagem como sarjetas, bocas de lobo e condutos, que não contemplam, por exemplo, os problemas de qualidade de água, como os relacionados com a deposição de sedimentos originados de processos erosivos intensificados pela própria urbanização e/ou por deficiência no sistema de limpeza urbana. Em tempo, essas soluções conduzem, frequentemente, a situações irreversíveis que impedem outros usos da água em meio urbano (BAPTISTA et al., 2005).

Em meio a este cenário, novas alternativas para o controle do escoamento pluvial começaram a surgir. Trata-se do conceito de **tecnologias alternativas** ou **compensatórias** de drenagem, que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA et al., 2005).

Ainda de acordo com esses autores, estas tecnologias são alternativas em relação às soluções clássicas porque consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo, buscando compensar, sistematicamente, os efeitos da urbanização. Esta compensação é efetuada pelo controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando-se sua transferência rápida para jusante.

Para Tucci (2000), o controle em nível de lote permite a redução de uma parte dos impactos devido à urbanização, já que ainda restam ruas, calçadas e áreas públicas. As áreas públicas podem ser utilizadas para redução dos alagamentos destas áreas. Com a redução da vazão de saída dos lotes, as redes públicas pluviais passam a ser dimensionadas com menores seções de escoamento causando uma redução de custos.

Dentre as principais soluções de controle do escoamento superficial, o PDDrU (Plano Diretor de Drenagem Urbana) (PORTO ALEGRE, 2005, p. 20-21), destaca:

- a) **aumento da infiltração** através de dispositivos como pavimentos permeáveis, valo de infiltração, plano de infiltração, entre outros. Estas medidas contribuem para a melhoria ambiental, reduzindo o escoamento superficial das áreas impermeáveis. Este tipo de medida é aplicada somente na fonte;
- b) **armazenamento**: o armazenamento amortece o escoamento, reduzindo a vazão de pico. O reservatório urbano pode ser construído na escala de lote, microdrenagem e macrodrenagem. Os reservatórios de lotes são usados quando não é possível controlar na escala de micro ou macrodrenagem, já que as áreas estão loteadas. Os reservatórios de micro e macrodrenagem podem ser de **detenção**, quando é mantido a seco e controla apenas o volume. O reservatório é de **retenção** quando é mantido com lâmina de água e controla também a qualidade da água, mas exige maior volume. Os reservatórios de retenção também contribuem para a melhoria da qualidade da água, se parte do volume (primeira parte do hidrograma) for mantida pelo menos 24 horas na detenção;
- c) **aumento da capacidade de escoamento**: mudando variáveis como área, rugosidade da seção do escoamento e a declividade, é possível aumentar a vazão e reduzir o nível. Esta solução, muito utilizada, apenas transfere para jusante o aumento da vazão, exigindo aumento da capacidade ao longo todo o sistema de drenagem, aumentando exponencialmente o custo.

No item a seguir são abordadas, com maiores detalhes, as trincheiras de infiltração.

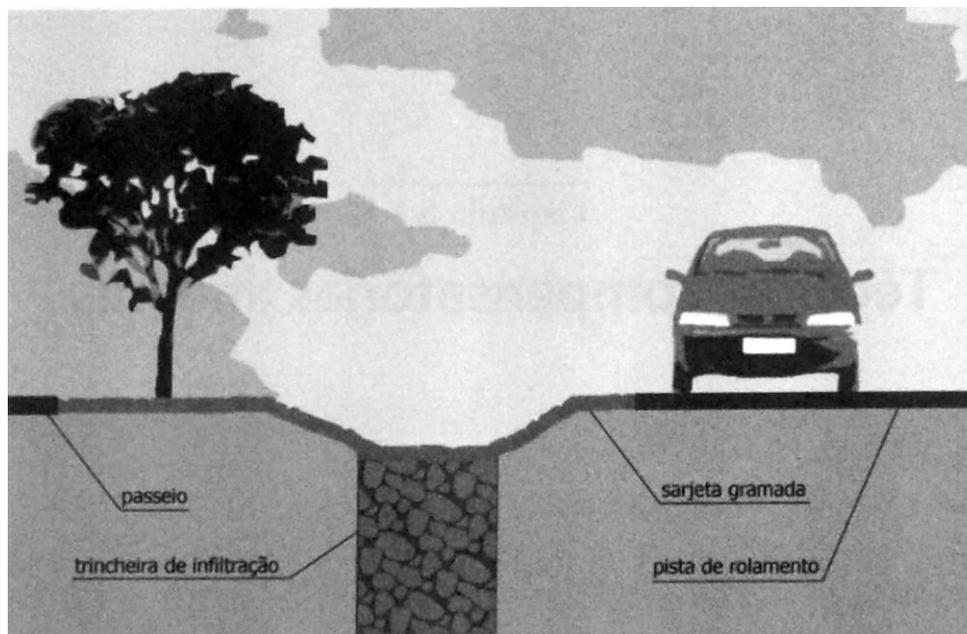
3.1 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

De acordo com Baptista et al. (2005, p. 173),

As trincheiras são técnicas compensatórias lineares, implantadas junto à superfície ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, favorecendo a infiltração e/ou o armazenamento temporário. Elas apresentam largura e profundidade reduzidas, usualmente não ultrapassando um metro, em contraposição às dimensões longitudinais, mais significativas. As trincheiras são bastante versáteis, podendo ser utilizadas em canteiros centrais e passeios, ao longo do sistema viário, ou ainda junto a estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral.

Um esquema exemplificando a utilização de trincheiras pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de utilização de trincheiras



(fonte: BAPTISTA et al., 2005, p. 174)

A Figura 2 representa uma trincheira de infiltração alimentada de maneira direta, ou seja, as águas pluviais infiltram-se diretamente no dispositivo através da superfície e das laterais da estrutura. Outra forma de direcionar o escoamento superficial para dentro da trincheira é através da utilização de um sistema convencional de drenagem, isto é, fazendo-se a coleta e o encaminhamento das águas à trincheira por meio de calhas e tubos. O esvaziamento da estrutura pode ocorrer por infiltração direta no solo, pela sua base e paredes laterais, ou através de um sistema de tubos.

O preenchimento das trincheiras de infiltração é normalmente feito com material granular graúdo, como brita ou pedra de mão. Estes materiais possuem porosidade tal que possibilitam o armazenamento temporário de grandes volumes de água. Por outro lado, ela pode sofrer o fenômeno da colmatção, ou seja, da penetração de grãos finos entre os poros do material, comprometendo a funcionalidade da trincheira em curto prazo, pois reduz a porosidade ao preencher os vazios e dificulta a saída da água para dentro do solo por infiltração (BAPTISTA et al., 2005).

Com o objetivo de evitar a passagem de finos e a consequente colmatação da estrutura, faz-se o revestimento da trincheira com manta geotêxtil. Além disso, o emprego desse material contribui para a redução do risco de poluição do lençol, uma vez que boa parte dos poluentes difusos de origem pluvial encontra-se associada aos sedimentos, usualmente retidos pela manta.

3.1.1 Alternativas ao preenchimento de trincheiras

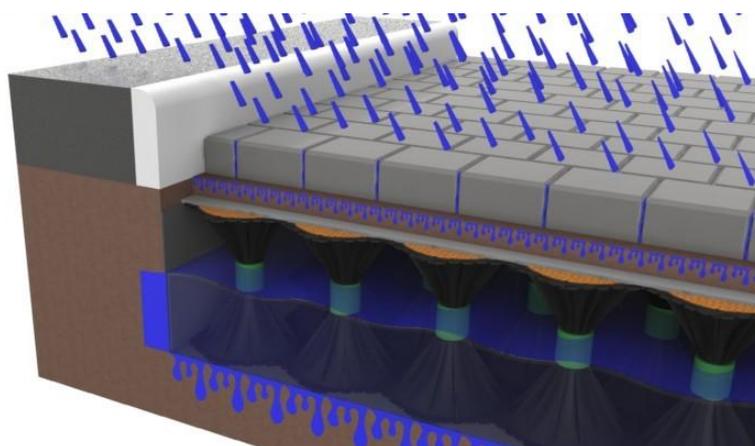
Outros materiais, como os plásticos, são empregados com frequência no preenchimento de trincheiras, especialmente em países desenvolvidos. As grandes vantagens destes materiais, sobre o preenchimento com brita, são a alta porosidade (de 80 a 95% contra, aproximadamente, 35% da brita) e a possibilidade de serem utilizados em espaços restritos. A seguir, são apresentados três alternativas ao preenchimento de trincheiras.

3.1.1.1 Ecodreno

O Ecodreno é um sistema de retenção, drenagem e infiltração das águas pluviais que funciona como uma cisterna modulada, deixando espaço livre para trânsito. O volume armazenado na estrutura pode ser reaproveitado para irrigação, descarga de sanitários ou como infiltração para recarga de aquíferos. É feito principalmente de plástico pós-consumo e funciona como colunas, estruturando o dreno urbano e impedindo o seu desmoronamento.

Quando utilizado em reservatórios permeáveis, o sistema é o responsável por aumentar a capacidade de infiltração das águas de origem pluvial, visto que a água fica retida temporariamente em seu interior e, posteriormente, infiltra-se no solo.

Figura 3 – Ecodreno aplicado em reservatório permeável

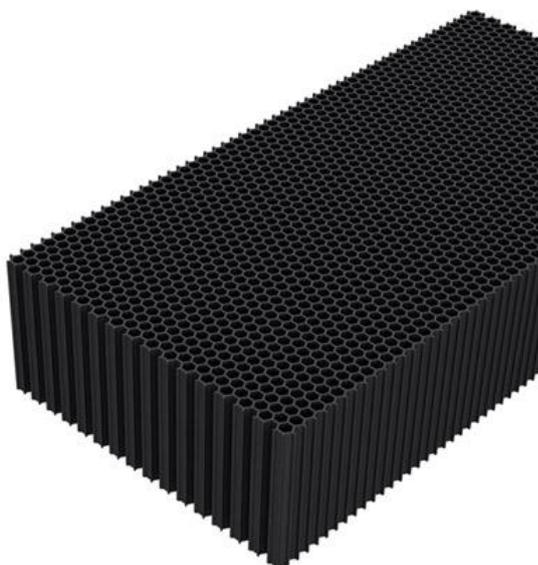


(fonte: ECOTELHADO)

3.1.1.2 Nidaplast® EP

A linha de produtos Nidaplast® EP, fabricada pela Nidaplast®, pode ser utilizada para o armazenamento subterrâneo temporário de águas pluviais sob espaços verdes ou estradas para veículos leves e pesados (resistência à compressão vertical de até 60 toneladas por m²) e suportam aterros de até 4,30 metros de altura. Os módulos são fabricados em polipropileno, o que concede ótima resistência química e reduz o risco de deterioração devido à eventual poluição. Além disso, o produto é de fácil e econômica instalação devido ao seu baixo peso.

Figura 4 – Módulo Nidaplast® EP em polipropileno

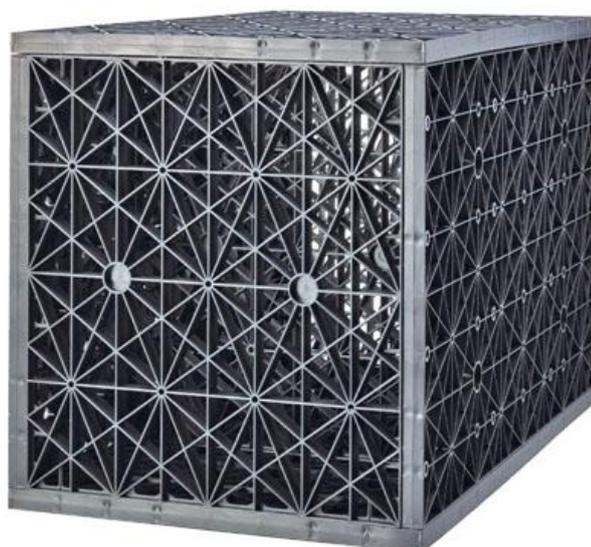


(fonte: NIDAPLAST)

3.1.1.3 Atlantis D-Raintank®

Assim como o Nidaplast® EP, esta alternativa constitui de módulos fabricados em material poroso plástico, de fácil instalação, utilizados para o armazenamento temporário de águas pluviais. Devido ao fato de possuírem altíssima porosidade (aproximadamente 95%) e à possibilidade de se empilhar diversos módulos um em cima do outro (graças ao baixo peso próprio), verifica-se uma grande capacidade de armazenamento dessa estrutura. De acordo com o fabricante, cada módulo consegue armazenar aproximadamente 0,11 m³ de água. O seu preço é U\$ 32,95/módulo.

Figura 5 – Módulo Atlantis D-Raintank® em polipropileno



(fonte: RAINHARVEST)

3.1.2 Concepção das trincheiras de infiltração

Quando se opta pela implantação de medidas de controle do escoamento superficial em lote, é fundamental a verificação de diversos aspectos relacionados ao solo local. Baptista et al. (2005, p. 177-178) sugerem que sejam verificados se:

- a) o solo é suficientemente permeável, pois com condutividades hidráulicas abaixo de 10^{-7} m/s, a infiltração não deve ser o único meio de evacuação das águas pluviais;
- b) o solo suporte é propício à infiltração, ou seja, sua composição geológica ou características geotécnicas não apresentam nenhuma contraindicação que poderia danificar a futura obra, a infraestrutura ou a superestrutura circundante (risco de

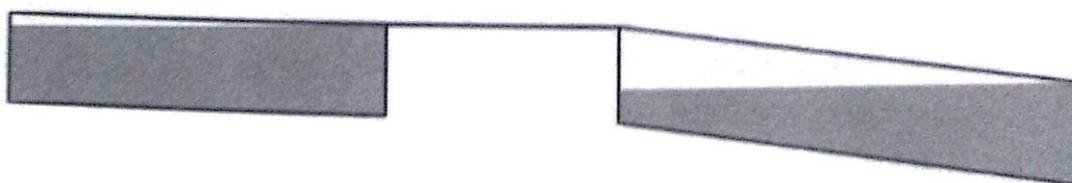
dissolução do solo suporte, risco de transporte da poluição por um solo rochoso fissurado, fenômenos de retração-expansão dos solos provocando alterações mecânicas...);

- c) o nível máximo do lençol freático situa-se a mais de 1 m de distância da base da trincheira – esta condição é necessária para não haver redução da capacidade das trincheiras caso as águas venham ocupar uma parte da estrutura, e para proteger o lençol de uma poluição crônica potencial;
- d) o projeto não se situa dentro de uma zona de infiltração regulamentada, como uma área de proteção de uma zona de captação de água potável, por exemplo;
- e) o local não abrigou no passado uma atividade muito poluente que pode ter contaminado o solo;
- f) as águas escoadas não são particularmente poluídas, como em zonas próximas de fontes potenciais de poluentes, postos de combustíveis, áreas de armazenamento de produtos químicos, etc.;
- g) as águas escoadas não carregam materiais finos em excesso, de maneira a não colmatar prematuramente a trincheira comprometendo o seu funcionamento hidráulico.

Outro fator de grande importância na concepção das trincheiras é a topografia. Segundo Baptista et al. (2005, p. 178-179),

A inclinação do terreno intervém igualmente na avaliação dos volumes úteis de armazenamento na trincheira. Se esta se situa em declive, barreiras internas ou divisórias podem ser colocadas para aumentar a capacidade de armazenamento e evitar transbordamentos nos pontos baixos e subutilização dos pontos altos. Uma grande inclinação no sentido longitudinal da trincheira limita, de fato, a sua utilização pela redução do volume útil de armazenamento, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Redução da capacidade de armazenamento no caso de grandes declividades



(fonte: BAPTISTA et al., 2005, p. 179)

Por fim, mas não menos importante, é preciso ter conhecimento acerca da capacidade de absorção do solo, pois é ela quem permite determinar a capacidade de descarga da trincheira quando do estudo hidráulico. Este parâmetro deve ser conhecido a fim de efetivamente

considerar o armazenamento necessário na trincheira, em função do tipo de solo, do nível d'água na trincheira e da taxa de umidade no solo (BAPTISTA et al., 2005).

3.1.3 Dimensionamento hidráulico das trincheiras

O processo de dimensionamento de uma trincheira ocorre por etapas, que podem ser descritas da seguinte maneira:

3.1.3.1 Escolha do risco hidrológico

O principal fator de influência no dimensionamento de uma trincheira é o risco hidrológico. Ele determina o grau de proteção que o dispositivo possuirá, frente à ocorrência de um determinado evento chuvoso (BAPTISTA et al., 2005). Entretanto, Tucci (2013) salienta que a possibilidade de adotar pequenos valores de tempo de retorno a fim de se diminuir os custos das obras e suas interferências no meio urbano deve ser feita com cautela, uma vez que as consequências dessa escolha podem ser bastante prejudiciais à população.

Neste caso, quanto maior o tempo de retorno adotado, maior será a capacidade de controle do escoamento pluvial do dispositivo. Os valores recomendados pelo Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005) são apresentados na Quadro 1.

Quadro 1 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

Sistema	Característica	Intervalo Tr (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Área de prédios públicos	2-5	5
	Aeroportos	5-10	5
	Áreas comerciais e avenidas	5-10	10
Macrodrenagem	-	10-25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5-100	100

(fonte: PORTO ALEGRE, 2005, p. 18)

3.1.3.2 Escolha das dimensões iniciais

Segundo Baptista et al. (2005), para o caso de uma trincheira de infiltração, faz-se necessário a escolha de dimensões iniciais a fim de se garantir a vazão mínima de infiltração (vazão de saída do dispositivo), a qual é dependente da superfície de infiltração e, por consequência, da sua geometria.

No que diz respeito as suas arestas, Baptista et al. (2005) observam o seguinte:

- a) o **comprimento** da trincheira é usualmente imposto pela área disponível para implantação da estrutura e, ao mesmo tempo, pela topografia local;
- b) a **profundidade** de uma trincheira de infiltração depende da capacidade de infiltração do solo local. Deve-se considerar também, o nível do lençol freático;
- c) a **largura** do dispositivo é o parâmetro que pode sofrer variações com menores restrições. Contudo, ela deve ser suficientemente grande para a fácil implantação e não larga em excesso, para não ocupar espaço em demasia. Caso não haja restrição relativa à largura e profundidade, recomenda-se aumentar a profundidade, em vez da largura, pois o fundo tende a sofrer colmatação mais rapidamente.

3.1.3.3 Determinação da vazão de descarga

Conforme Baptista et al. (2005), quando se trata de trincheiras de infiltração, a vazão de saída é função da capacidade de infiltração do solo, normalmente definida através de ensaios *in situ*, do nível de água na trincheira e da superfície de infiltração. Eles acrescentam ainda que, quando da hipótese de um lençol profundo, a capacidade de absorção pode ser aproximada pela condutividade hidráulica à saturação, supondo-se, implicitamente, que o gradiente hidráulico corresponde a 1.

3.1.3.4 Verificação do volume inicial quanto à infiltração

As dimensões escolhidas inicialmente para a trincheira devem ser tais que ela tenha capacidade de expulsar metade do volume máximo de água armazenável em seu interior em menos de 24 horas (PORTO ALEGRE, 2005). Essa verificação pode ser feita através do modelo de infiltração horizontal de Phillip, em que a taxa de infiltração decai com o tempo conforme a Equação 1 (MENDIONDO, 2008).

$$I = C \cdot t^{0,5} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

I – infiltração acumulada até o instante t (m³/m²);

C – sortividade, grandeza relacionada com a capacidade do solo homogêneo de absorver água em relação à sua umidade inicial (m³/s/m²);

t – tempo (s).

Como já fora mencionado no item 3.1.3.2, a vazão de infiltração é dependente da área de infiltração disponível na trincheira. Em relação a isso, o método considera as seguintes hipóteses:

- a) a área superficial da base é totalmente colmatada;
- b) a superfície lateral de infiltração nas extremidades da trincheira é desprezível;
- c) a infiltração ocorre, portanto, somente na superfície lateral da trincheira; e
- d) o nível d'água médio é igual a ½H, sendo H a altura útil da trincheira.

Desta maneira, a área efetiva de infiltração é dada por:

$$A_{INF, EF} = 2 \cdot L \cdot (H / 2) = L \cdot H \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A_{INF, EF} – área efetiva de infiltração (m²);

L – comprimento da trincheira (m);

H – altura útil da trincheira (m).

Por fim, o volume infiltrado no solo até o instante t é dado por:

$$V_{INF} = I \cdot A_{INF, EF} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

V_{INF} – volume infiltrado até o instante t.

Substituindo-se a Equação 3 na Equação 1 e isolando-se o tempo, obtém-se a seguinte equação:

$$t = [V_{INF} / (A_{INF, EF} \cdot C)]^2 \quad \text{Equação 4}$$

Como estamos interessados no tempo que o dispositivo necessita para o esvaziamento da metade do volume máximo armazenável, assume-se que V_{INF} equivale à metade do volume máximo armazenável na trincheira, ou seja:

$$V_{INF} = V_{ARM, T} / 2 = B \cdot L \cdot H / 2 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$V_{ARM, T}$ – volume máximo armazenável na trincheira (m³);

B – largura da trincheira (m).

3.1.4 Implantação das trincheiras

Na implantação das trincheiras, é fundamental que sejam seguidas algumas recomendações construtivas e efetuados alguns controles de modo a assegurar o funcionamento adequado da estrutura. Tendo isso em vista, Baptista et al. (2005) fazem algumas recomendações, as quais são expostas nos itens que seguem.

3.1.4.1 Cuidados com as áreas no entorno

No meio urbano é comum termos a execução simultânea de diversas obras de construção civil em uma mesma localidade. Como consequência disso, aportes significativos de terra podem ser conduzidos às trincheiras, acelerando a colmatação dessas estruturas. Para evitar este problema, é recomendado que os dispositivos de controle pluvial sejam construídos após a ocupação urbana no entorno. Além disso, devem-se separar as superfícies produtoras de finos, como espaços verdes e zonas de erosão, das superfícies drenadas pelas trincheiras.

3.1.4.2 Instalação de geotêxtil e geomembranas

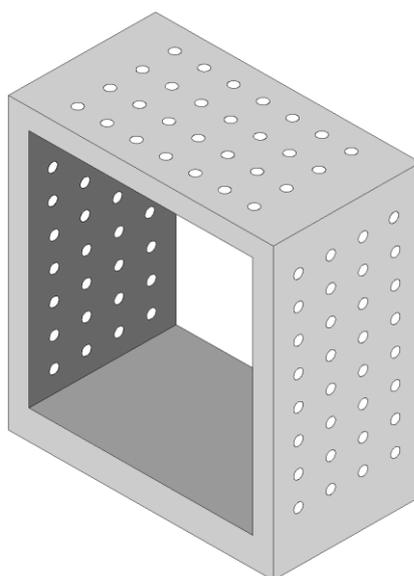
A instalação dos elementos de proteção da estrutura contra o efeito de colmatção, como o geotêxtil e a geomembrana, exigem cuidados específicos. É primordial que seja executado o recobrimento do geotêxtil e a correta cobertura de todas as faces da estrutura. O manuseio deve ser cuidadoso, pois o material é suscetível a rupturas, que podem ser decorrentes da fixação pelas máquinas ou irregularidades do solo. Recomenda-se também, o afastamento desses elementos de materiais que possam provocar a colmatção precoce.

No caso específico das geomembranas, deve-se tomar o cuidado contra possíveis perfurações, o que ocasiona a perda da impermeabilidade da estrutura.

4 MÓDULO EM CONCRETO

Frente às alternativas apresentadas no capítulo anterior, percebe-se uma carência de soluções de baixo custo para o preenchimento de trincheiras de infiltração (os materiais plásticos, como o polipropileno, costumam ser caros e, por isso, pouco utilizados no Brasil). Assim, este trabalho verifica a possibilidade de utilização de blocos vazados em concreto armado, como dispositivos de infiltração (ver Figura 7). Justificam esta proposta a praticidade na instalação, a alta porosidade que pode ser conferida ao material e o baixo custo de fabricação, que são comprovados mais adiante. As etapas de dimensionamento estrutural são apresentadas nos itens a seguir.

Figura 7 – Módulo de concreto para uso em trincheiras de infiltração



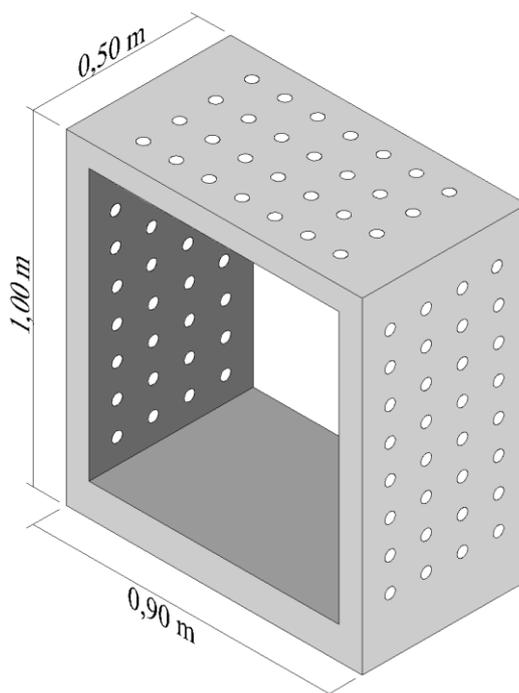
(fonte: elaborado pelo autor)

4.1 DIMENSÕES INICIAIS

Conforme o disposto no item 3.1.3.2, as dimensões iniciais da trincheira são arbitradas levando-se em consideração algumas restrições. Sendo assim, escolheram-se para o módulo as seguintes dimensões:

- a) comprimento: a fim de facilitar o transporte e o assentamento dos módulos de concreto na trincheira, estabeleceu-se comprimento igual a **0,5 metros**;
- b) profundidade: assumiu-se nível do lençol freático a mais de 2 metros de profundidade, permitindo que o módulo possua **1 metro** de altura;
- c) largura: analogamente ao comprimento, fixou-se a largura do módulo em **0,90 metros**.

Figura 8 – Dimensões externas do módulo de concreto

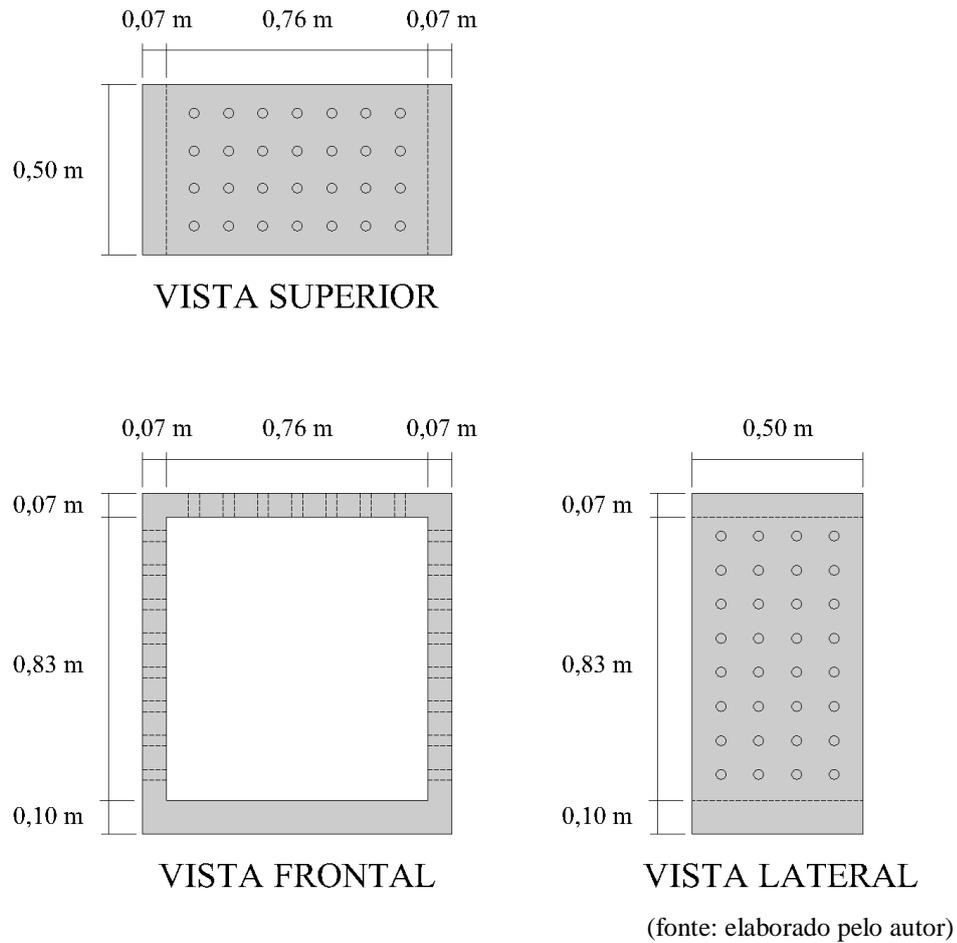


(fonte: elaborado pelo autor)

Os furos nas paredes e tampas serão executados no momento da concretagem com o auxílio de tubos de PVC. O posicionamento desses furos deve permitir que as armaduras postas em cada laje possuam o recobrimento mínimo adequado. Sendo assim, verificou-se que quatro colunas de furos de diâmetros iguais a 32 mm, espaçadas 7,8 cm entre si, atingem as necessidades supracitadas. Além disso, assumiu-se que os furos não interferem no cálculo estrutural do módulo por serem pequenos demais.

A laje de fundo não possui furos, pois considera-se que a infiltração das águas no solo ocorre apenas no sentido horizontal. Já a espessura das paredes e da tampa foram arbitradas como sendo iguais a 7 cm, ao passo que a do fundo, a 10 cm, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Dimensões internas do módulo de concreto



Sendo assim, a capacidade aproximada de armazenamento de um módulo de concreto resultada em:

$$V_{\text{ARM}} = 0,50 \text{ m} \cdot 0,83 \text{ m} \cdot 0,76 \text{ m} + V_{\text{FUROS}} = 0,316 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

V_{ARM} – capacidade de armazenamento hidráulico (m^3);

V_{FUROS} – volume dos furos (aproximadamente $0,0052 \text{ m}^3$);

0,50 m, 0,83 m e 0,76 m – dimensões internas do módulo.

Multiplicando-se o valor das dimensões externas do módulo, obtém-se o volume total do dispositivo. A razão entre a capacidade de armazenamento (volume de vazios) e o volume total indica a porosidade do material, que neste caso é de aproximadamente 71%.

4.2 RELAÇÕES ENTRE OS LADOS DAS LAJES

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), as lajes retangulares são classificadas como:

- a) lajes armadas em uma só direção: são aquelas em que a relação entre o maior e o menor vão é maior que 2;
- b) lajes armadas em duas direções ou armadas em cruz: em caso contrário.

Em função da vinculação das bordas da laje, a classificação acima apresenta exceções. Se a laje for suportada continuamente somente ao longo de duas bordas paralelas (as outras duas forem livres) ou quando tiver três bordas livres (laje em balanço), ela será também armada em uma só direção, independente da relação entre os lados. Portanto, o módulo proposto deverá ser armado em uma só direção, uma vez que suas faces apresentam duas bordas paralelas livres e outras duas, engastadas.

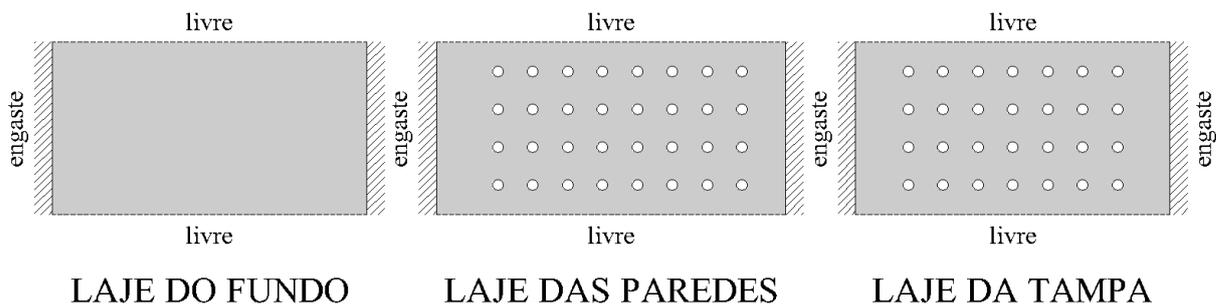
4.3 VINCULAÇÕES

As bordas das lajes podem apresentar os seguintes tipos de vinculação:

- a) apoiada: quando a borda da laje é continuamente suportada por vigas, paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, de blocos de concreto ou de pedras;
- b) livre: quando a borda da laje não tiver nenhuma vinculação ao longo daquele lado;
- c) engastada: quando a borda da laje tem continuidade além do apoio correspondente daquele lado (laje adjacente).

Nesse aspecto, as quatro lajes do módulo de concreto possuirão, cada uma, duas bordas paralelas livres e as outras duas, engastadas, conforme pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 – Vinculações entre as lajes do módulo de concreto



(fonte: elaborado pelo autor)

4.4 VÃOS EFETIVOS NAS LAJES

Conforme o item 14.7.2.2 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), quando os apoios puderem ser considerados suficientemente rígidos quanto à translação vertical, o vão efetivo deve ser calculado pela seguinte expressão:

$$l_{ef} = l_o + a_1 + a_2 \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

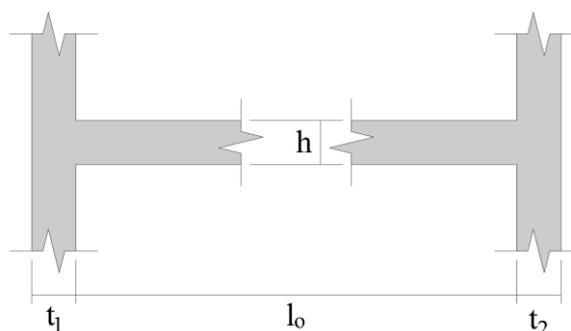
l_{ef} – vão efetivo da laje (m);

l_o – distância entre os apoios (m);

a_1 – menor valor entre $t_1/2$ e $0,3h$ (m);

a_2 – menor valor entre $t_2/2$ e $0,3h$ (m).

Figura 11 – Variáveis determinantes do vão efetivo de uma laje de concreto



(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

Desta maneira, o vão efetivo de cada laje do módulo foi calculado e pode ser visualizado na Tabela 1:

Tabela 1 – Vãos efetivos das lajes do módulo de concreto

LAJES	h	0,3h	t1	t2	t1/2	t2/2	a1	a2	lo	lef
Fundo	0,10	0,030	0,07	0,07	0,035	0,035	0,030	0,030	0,76	0,820
Tampa	0,07	0,021	0,07	0,07	0,035	0,035	0,021	0,021	0,76	0,802
Paredes	0,07	0,021	0,07	0,10	0,035	0,050	0,021	0,021	0,83	0,872

(fonte: elaborado pelo autor)

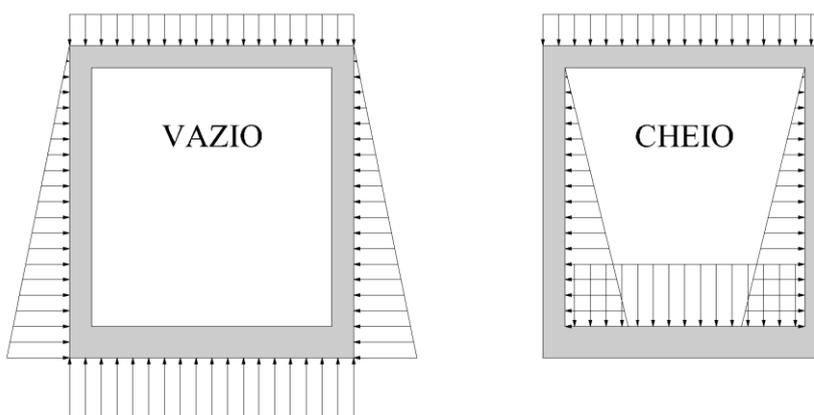
4.5 CARGAS NAS LAJES

Semelhante aos reservatórios de água enterrados, os esforços solicitantes na estrutura proposta são:

- o peso próprio das paredes, da tampa e do fundo;
- a carga acidental na tampa;
- o empuxo da água;
- o empuxo do solo.

Sendo os dois últimos calculados separadamente, considerando ora o módulo vazio, ora cheio de água. A Figura 12 ilustra as ações que atuam em cada laje.

Figura 12 – Esquema de ações nas lajes do módulo



(fonte: elaborado pelo autor)

Os pesos específicos utilizados no cálculo, bem como o coeficiente de empuxo ativo do solo, são:

- e) peso específico do concreto armado: 25 kN/m³;
- f) peso específico do solo: 18 kN/m³;
- g) peso específico da água: 10 kN/m³;
- h) coeficiente de empuxo ativo do solo: 0,33.

4.5.1 Cargas na tampa

As cargas atuantes na tampa, tanto na situação de módulo vazio quanto cheio, consistem do peso próprio da mesma e da carga acidental que ocorre em si, ou seja, 1,75 kN/m² – o produto entre o peso específico do concreto armado e a espessura da tampa – e 1 kN/m², respectivamente. Portanto, somando-se as duas parcelas, chega-se a uma carga total na tampa igual à:

$$q_T = 2,75 \text{ kN/m}^2 \qquad \text{Equação 8}$$

Sendo:

q_T – carga resultante na tampa para o módulo vazio (kN/m²).

4.5.2 Cargas no fundo (módulo vazio)

Na determinação das cargas que atuam na laje do fundo observa-se que o peso próprio da tampa e das paredes transforma-se em reação no solo de baixo para cima na laje do fundo. O peso próprio do fundo equivale a 2,50 kN/m², pois a laje do fundo possui 10 cm de espessura. Já o peso próprio das paredes é calculado da seguinte maneira:

$$PP_P = 2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,07 \text{ m} = 3,50 \text{ kN/m}^2 \qquad \text{Equação 9}$$

Portanto, a carga resultante na laje de fundo q_F fica:

$$q_F = (q_T \cdot A_T + PP_P \cdot A_P + PP_F \cdot A_F) / A_F \quad \text{Equação 10}$$

$$q_F = -3,32 \text{ kN/m}^2$$

Sendo:

q_F – carga resultante na laje do fundo para o módulo vazio (kN/m^2);

q_T – carga da tampa = $-2,75 \text{ kN/m}^2$;

A_T – área da tampa = $0,38 \text{ m}^2$;

PP_P – peso próprio das paredes = $-3,50 \text{ kN/m}^2$;

A_P – área das paredes = $0,45 \text{ m}^2$;

PP_F – peso próprio da laje do fundo = $2,5 \text{ kN/m}^2$;

A_F – área da laje do fundo = $0,45 \text{ m}^2$.

4.5.3 Cargas nas paredes (módulo vazio)

Assume-se que o módulo de concreto será instalado junto à superfície do terreno, portanto, a distribuição das cargas nas paredes é triangular, dada por:

$$q_{P, \text{base}} = K_a \cdot \gamma_s \cdot h_p = 5,40 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:

$q_{P, \text{base}}$ – empuxo do solo na base do módulo de concreto;

K_a – coeficiente de empuxo ativo do solo = $0,33$;

γ_s – peso específico do solo = 18 kN/m^3 ;

h_p – altura a parede = $0,90 \text{ m}$.

4.5.4 Cargas no fundo (módulo cheio)

Na situação de reservatório cheio, por questões de segurança, são desconsiderados todos os empuxos do solo e do peso próprio da tampa e das paredes, pois há a hipótese de que o solo não esteja em contato nas paredes, portanto:

$$Q_F = (q_T \cdot A_T + PP_P \cdot A_P + \gamma_A \cdot V_{ARM} + PP_F \cdot A_F) / A_F = \mathbf{15,33 \text{ kN/m}^2} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo:

Q_F – carga resultante na laje do fundo para o módulo cheio (kN/m^2);

q_T – carga da tampa = $2,75 \text{ kN/m}^2$;

A_T – área da tampa = $0,38 \text{ m}^2$;

PP_P – peso próprio das paredes = $3,50 \text{ kN/m}^2$;

A_P – área das paredes = $0,45 \text{ m}^2$;

γ_A – peso específico da água = 10 kN/m^3 ;

V_{ARM} – capacidade de armazenamento hidráulico (m^3);

PP_F – peso próprio da laje do fundo = $2,5 \text{ kN/m}^2$;

A_F – área da laje do fundo = $0,45 \text{ m}^2$.

4.5.5 Cargas nas paredes (módulo cheio)

Na situação de módulo completamente cheio de água, utiliza-se a carga triangular com a ordenada máxima a favor da segurança. Portanto:

$$Q_{P, \text{base}} = \gamma_A \cdot h' = 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,83 \text{ m} = \mathbf{8,30 \text{ kN/m}^2} \quad \text{Equação 13}$$

Sendo:

$Q_{P, \text{base}}$ – pressão hidrostática na base da parede (kN/m^2);

γ_A – peso específico da água = 10 kN/m^3 ;

h' – altura útil do módulo (m).

4.6 ESFORÇOS NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Para o cálculo das reações e momentos fletores foram utilizadas as tabelas de lajes de Bares¹ (1972 apud PINHEIRO, 2007) (ver Anexo A), que fornecem coeficientes adimensionais (μ_x , μ_y , μ_y' , μ_{y_i}' , μ_{y_s}') em função da razão entre os vãos na direção y e x de cada laje, do tipo de

¹ BARES, R. **Tablas para el calculo de placas y vigas pared**. Barcelona: Gustavo Gili, 1972.

carregamento atuante, bem como de suas vinculações. Tais coeficientes são empregados na equação abaixo para a obtenção dos momentos fletores por unidade de largura de uma laje.

$$m = (\mu \cdot P \cdot l^2) / 100 \quad \text{Equação 14}$$

Sendo:

m – momento fletor (kNm/m);

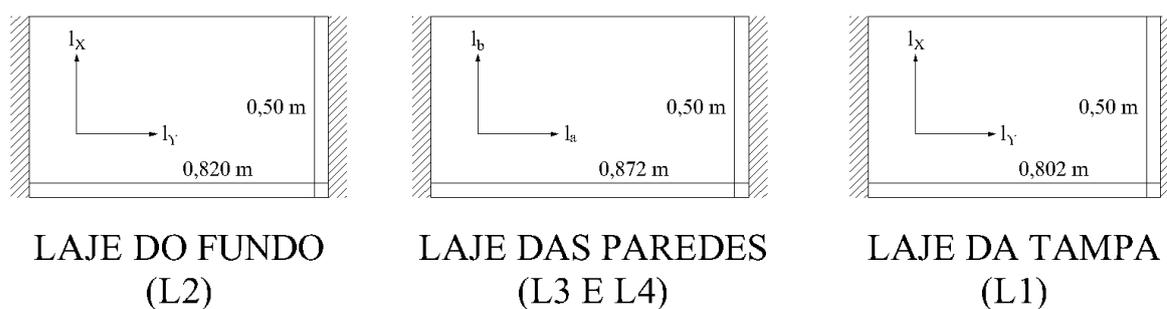
μ – fator de multiplicação tabelado;

P – carga atuante na laje (kN/m²);

l – menor vão da laje (m).

As vinculações entre os elementos estruturais, bem como seus vãos teóricos, calculados conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), foram apresentados nos itens 4.3 e 4.4, respectivamente. Sendo assim, para cada laje tem-se o seguinte:

Figura 13 – Vinculações e vãos teóricos



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 2 – Características das lajes

LAJES		L1	L2	L3	L4
Características	Tipo	4A	4A	14	14
	I_y	0,802	0,820	-	-
	I_x	0,500	0,500	-	-
	I_y/I_x	1,600	1,640	-	-
	l_a	-	-	0,872	0,872
	l_b	-	-	0,500	0,500
	l_a/l_b	-	-	1,740	1,740

(fonte: elaborado pelo autor)

Sendo:

 l_y , l_x , l_a e l_b – vãos teóricos das lajes (m).

A classificação quanto ao tipo de cada laje foi feita com o uso das tabelas de Pinheiro (2007), as quais podem ser visualizadas no Anexo A deste trabalho. No caso, as lajes do tipo 4A são as engastadas nos vãos menores e livres nos demais com carregamento uniforme, já as do tipo 14 são também engastadas nos vãos menores e livres nos demais, mas com carga triangular.

Aplicando-se os dados da Tabela 2 juntamente com as cargas calculadas nos itens 4.5.1 a 4.5.5 nas tabelas de Pinheiro (2007) (Anexo A) e na Equação 14, obtêm-se os seguintes valores para os fatores de multiplicação e para os momentos fletores atuantes no módulo:

Tabela 3 – Momentos fletores no módulo vazio

LAJES		L1	L2	L3	L4
Momentos Fletores (kNm/m)	μ_x	6,030	6,350	3,510	3,510
	μ_y	3,890	3,850	2,240	2,240
	μ_y'	10,910	11,080	-	-
	μ_{yi}'	-	-	7,770	7,770
	μ_{ys}'	-	-	3,680	3,680
	m_x	0,0415	-0,0924	0,0474	0,0474
	m_y	0,0267	-0,0560	0,0302	0,0302
	m_y'	0,0750	-0,1613	-	-
	m_{yi}'	-	-	0,1049	0,1049
	m_{ys}'	-	-	0,0497	0,0497

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 4 – Momentos fletores no módulo cheio

LAJES	L1	L2	L3	L4	
Momentos Fletores (kNm/m)	μ_x	6,030	6,350	3,510	3,510
	μ_y	3,890	3,850	2,240	2,240
	μ_y'	10,910	11,080	-	-
	μ_{yi}'	-	-	7,770	7,770
	μ_{ys}'	-	-	3,680	3,680
	m_x	0,0415	0,2037	0,0728	0,0728
	m_y	0,0267	0,1235	0,0465	0,0465
	m_y'	0,0750	0,3554	-	-
	m_{yi}'	-	-	0,1612	0,1612
	m_{ys}'	-	-	0,0764	0,0764

(fonte: elaborado pelo autor)

Sendo:

μ_x , μ_y , μ_y' , μ_{yi}' e μ_{ys}' – fatores de multiplicação tabelados para determinação dos momentos fletores de uma laje;

m_x – momento fletor na direção x (kNm/m);

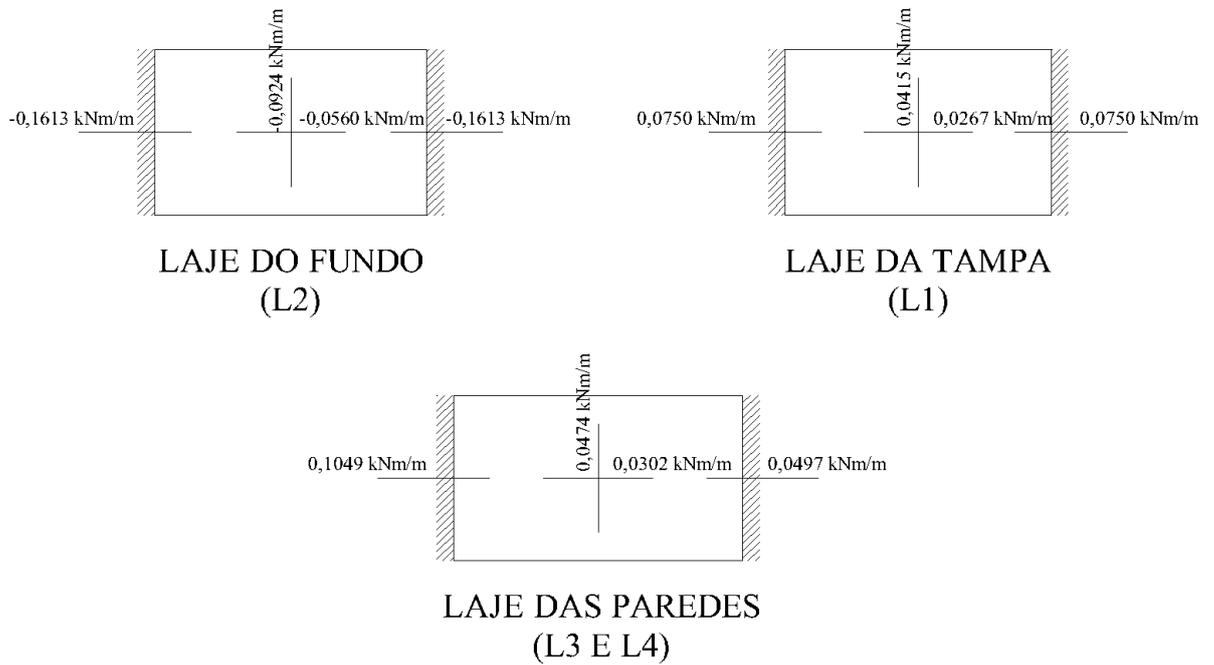
m_y e m_y' – momentos fletores na direção y (carregamento uniforme na laje) (kNm/m);

m_{yi}' e m_{ys}' – momentos fletores inferior e superior na direção y (carregamento triangular na laje) (kNm/m).

4.7 REPRESENTAÇÃO DOS MOMENTOS NAS LAJES

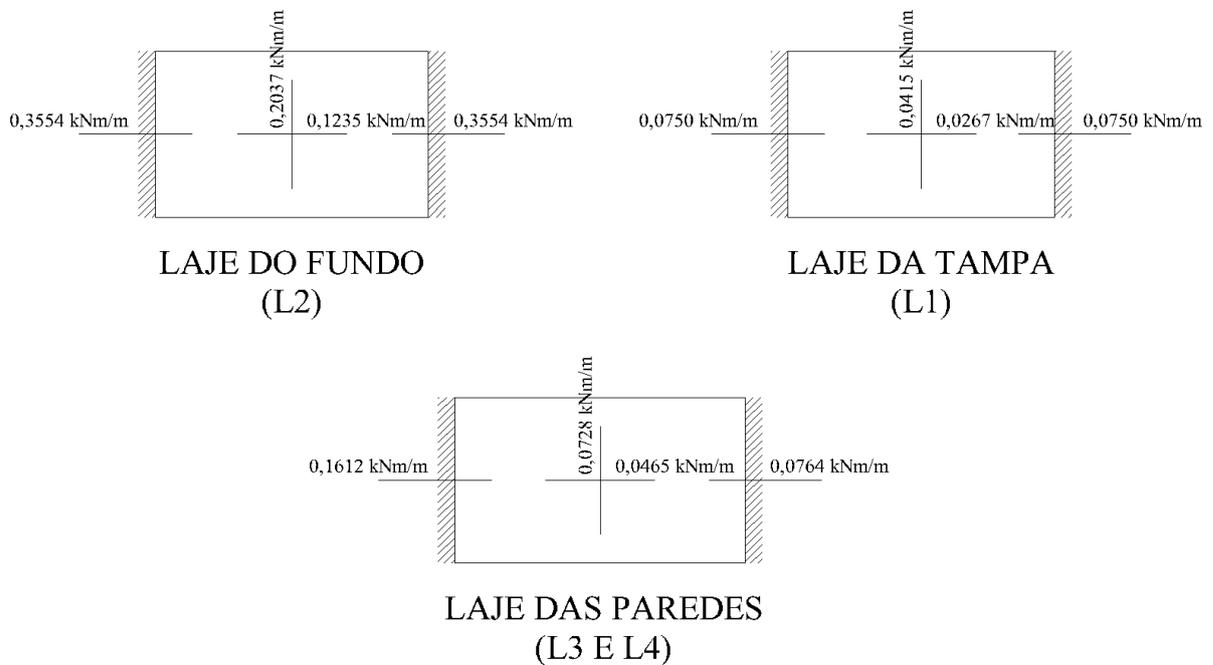
Os momentos fletores obtidos estão representados nas figuras abaixo.

Figura 14 – Momentos fletores no módulo vazio



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 15 – Momentos fletores no módulo cheio



(fonte: elaborado pelo autor)

4.8 COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS

Segundo Araújo (2010), os momentos negativos nas ligações entre as lajes do módulo de concreto serão iguais às médias dos valores obtidos como lajes isoladas.

4.8.1 Ligação fundo-parede para o módulo vazio

$$Y_{FP, V} = (-0,1613 + 0,1049) / 2 = -0,0282 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 15}$$

4.8.2 Ligação tampa-parede para o módulo vazio

$$Y_{TP, V} = (0,0750 + 0,0497) / 2 = 0,0623 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 16}$$

4.8.3 Ligação fundo-parede para o módulo cheio

$$Y_{FP, C} = (0,3554 + 0,1612) / 2 = 0,2583 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 17}$$

4.8.4 Ligação tampa-parede para o módulo cheio

$$Y_{TP, C} = (0,0750 + 0,0764) / 2 = 0,0757 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 18}$$

Para a situação de reservatório vazio, tem-se que as reduções dos momentos negativos nas lajes de fundo e na tampa são dadas por:

$$\Delta Y_{FP, v} = -0,1613 - (-0,0282) = -0,1331 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 19}$$

$$\Delta Y_{TP, v} = 0,0750 - 0,0623 = 0,0127 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 20}$$

Com a compatibilização, o momento positivo no fundo diminui. Portanto, ele não será alterado do valor inicial, por segurança.

Para a situação de reservatório cheio tem-se as seguintes reduções:

$$\Delta Y_{FP, C} = 0,3554 - 0,2583 = 0,0971 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 21}$$

$$\Delta Y_{TP, C} = 0,0750 - 0,0757 = -0,0007 \text{ kNm/m} \quad \text{Equação 22}$$

Com a compatibilização, o momento positivo na tampa diminui. Portanto, ele não será alterado do valor inicial, por segurança.

Sendo assim, tem-se aumento nos momentos positivos da tampa, para a situação de reservatório vazio, e do fundo, na situação de reservatório cheio.

4.9 CORREÇÃO DOS MOMENTOS

Aplicando-se esses momentos nas bordas das lajes, obtêm-se as alterações nos momentos positivos com o emprego da tabela 5.3.1 de Araújo (2010). As relações entre os lados da laje de fundo e da tampa são dadas por:

$$\text{Para a tampa: } l_x / l_y = 0,50 / 0,802 = 0,60 \quad \text{Equação 23}$$

$$\text{Para o fundo: } l_x / l_y = 0,50 / 0,820 = 0,60 \quad \text{Equação 24}$$

E da tabela obtêm-se o seguinte coeficiente:

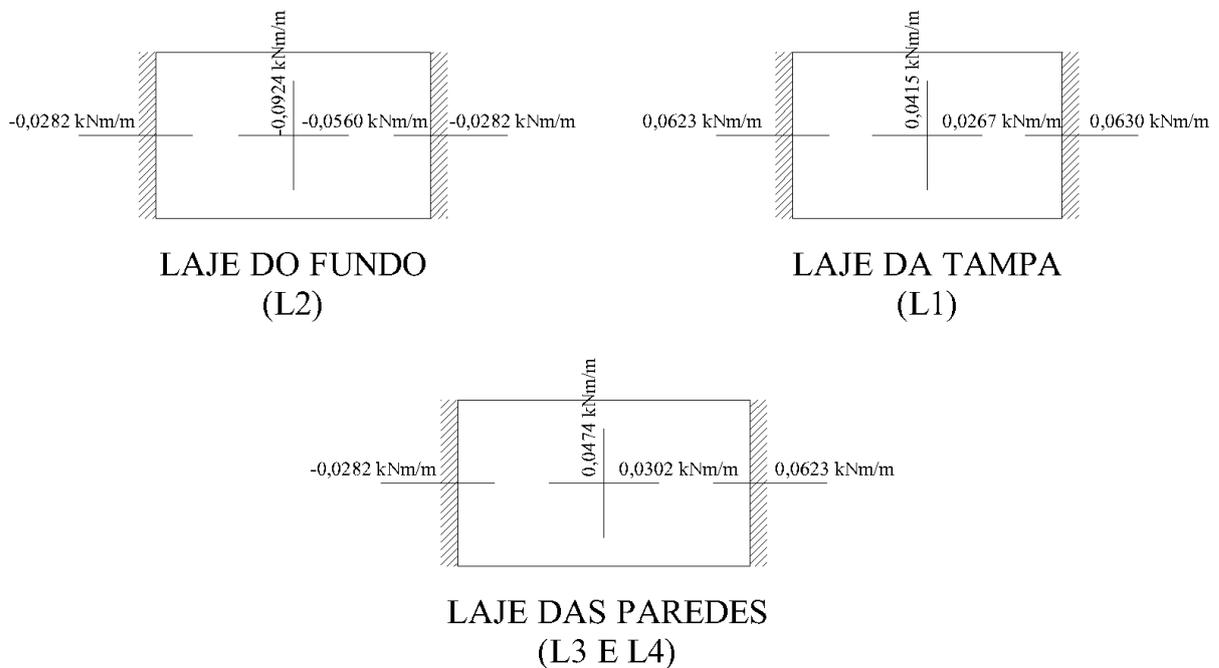
$$\gamma_Y^2 = -0,003$$

Como o coeficiente obtido representa um valor negativo, o momento final seria menor que o original. Assim, não foi feita alteração nos momentos positivos das quatro lajes do módulo, por segurança.

4.10 MOMENTOS FINAIS NO MÓDULO

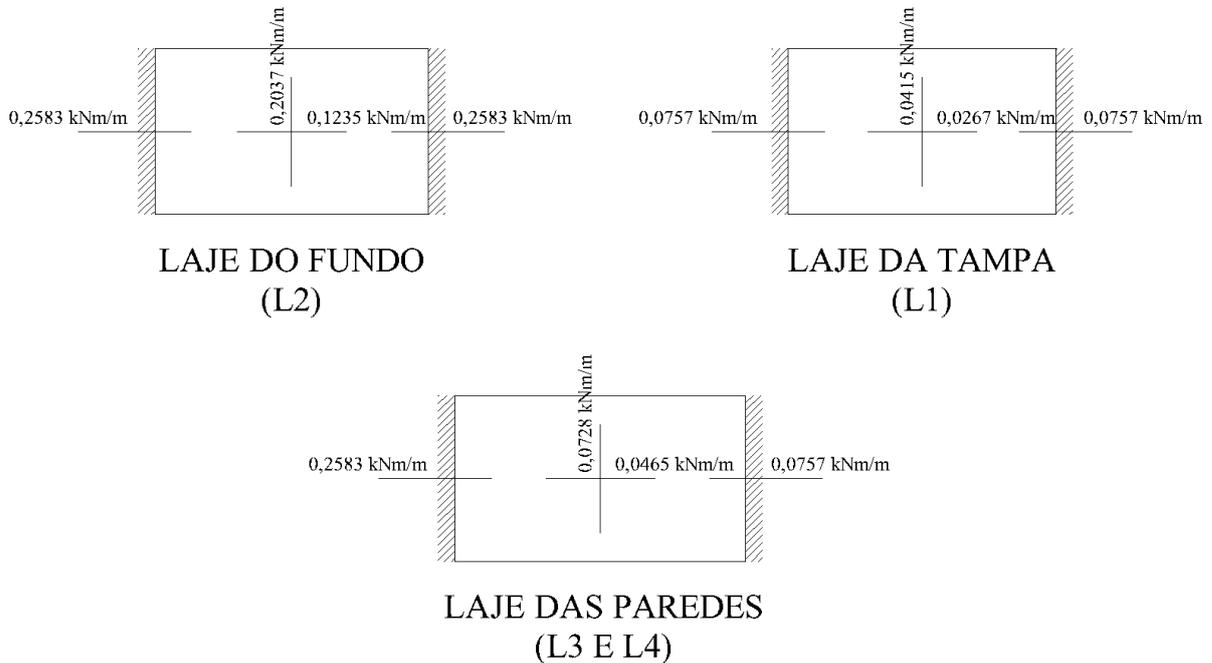
Os momentos finais no módulo de concreto estão representados nas Figuras 16 e 17, apresentadas a seguir.

Figura 16 – Momentos finais no módulo vazio



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 17 – Momentos finais no módulo cheio



(fonte: elaborado pelo autor)

4.11 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), o dimensionamento das armaduras das lajes deve ser feito para uma seção retangular de largura $b = 100$ cm e altura útil $d = h - c - 0,5$ cm, onde h é a espessura da laje e c é o cobrimento de armadura adotado (3 cm, devido ao contato da estrutura com o solo e classe de agressividade ambiental = 1).

O dimensionamento da armadura à flexão simples deve ser feito pelas seguintes expressões:

$$x = \frac{d}{\lambda} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * m_d}{\alpha_c * f_{cd} * b * d^2}} \right)$$

Equação 25

$$A_s = \frac{\alpha_c * \lambda * f_{cd} * b * x}{f_{yd}}$$

Equação 26

Sendo:

x – altura da linha neutra (cm);

d – altura útil da laje (cm);

m_d – momento fletor de cálculo = $1,4 \cdot m_k$ (kNcm/m);

m_k – momento fletor compatibilizado (kNm/m);

α_c – parâmetro de redução da resistência do concreto à compressão;

f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão;

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão = f_{ck} / γ_c ;

γ_c – coeficiente de segurança do concreto = 1,4;

b – largura de uma seção retangular de laje = 100 cm;

A_s – área da seção transversal da armadura (cm²);

f_{yk} – resistência característica do aço à tração;

f_{yd} – resistência de cálculo do aço à tração = $f_{yk} / \gamma_{aço}$;

$\gamma_{aço}$ – coeficiente de segurança do aço = 1,15.

O valor do parâmetro λ pode ser tomado como 0,80 (concretos de f_{ck} igual ou inferior a 50 MPa) e α_c é definido como 0,85 (concreto de classe até C50).

Por sua vez, a armadura mínima necessária em uma laje são calculadas através da seguinte expressão:

$$A_{S, \min} = 0,15\% \cdot b \cdot h$$

Equação 27

Sendo:

$A_{S, \min}$ – armadura mínima necessária (cm²);

b – largura de uma seção retangular de laje = 100 cm;

h – espessura da laje (cm).

Para o módulo verificado neste trabalho considerou-se o uso de concreto f_{ck} 20 MPa, ou seja, concreto de resistência característica à compressão da ordem de 20 Mpa, e de aço CA-60, classificação dada as barras de aço que possuem resistência característica à tração da ordem de 660 MPa. Com isso em vista, encontraram-se as seguintes armaduras:

Tabela 5 – Dimensionamento das armaduras para o módulo vazio

LAJE	h (cm)	d (cm)	b (cm)	M _k (kNm/m)	M _d (kNm/m)	x (cm)	A _s (cm ²)	A _{s,min} (cm ²)	A _{s,adot} (cm ²)
TAMPA	7	3,5	100	0,0267	0,0374	0,0110	0,02	1,05	1,05
FUNDO	10	6,5	100	0,0560	0,0785	0,0124	0,03	1,50	1,50
PAREDES	7	3,5	100	0,0302	0,0423	0,0125	0,03	1,05	1,05
FUN-PAR	7	3,5	100	0,0282	0,0395	0,0116	0,03	1,05	1,05
PAR-TAM	7	3,5	100	0,0623	0,0873	0,0257	0,06	1,05	1,05

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 6 – Dimensionamento das armaduras para o módulo cheio

LAJE	h (cm)	d (cm)	b (cm)	M _k (kNm/m)	M _d (kNm/m)	x (cm)	A _s (cm ²)	A _{s,min} (cm ²)	A _{s,adot} (cm ²)
TAMPA	7	3,5	100	0,0267	0,0374	0,0110	0,02	1,05	1,05
FUNDO	10	6,5	100	0,1235	0,1729	0,0274	0,06	1,50	1,50
PAREDES	7	3,5	100	0,0465	0,0651	0,0192	0,04	1,05	1,05
FUN-PAR	7	3,5	100	0,2583	0,3617	0,1077	0,24	1,05	1,05
PAR-TAM	7	3,5	100	0,0757	0,1060	0,0313	0,07	1,05	1,05

(fonte: elaborado pelo autor)

Sendo:

h – espessura da laje (cm);

d – altura útil da laje (cm);

b – largura de uma seção retangular da laje = 100 cm;

M_k – momento fletor atuante na laje (kNm/m);M_d – momento fletor de cálculo = M_k.1,4 (kNm/m);

x – altura da linha neutra (m);

A_s – área da seção transversal de armadura calculada (cm²);A_{s,min} – área da seção transversal de armadura mínima requerida pela norma (cm²);A_{s,adot} – área da seção transversal de armadura adotada = o valor máximo entre A_s e A_{s,min} (cm²).

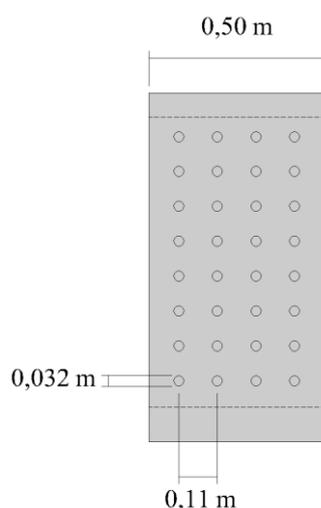
4.11.1 Posicionamento, diâmetros e espaçamento entre armaduras

Os esforços que atuam nas lajes do módulo, conforme visto no item 4.5, são diferentes nas situações de reservatório cheio e vazio. Quando este se encontra vazio, a área interna do módulo é quem sofre o efeito de tração, enquanto que quando da hipótese de reservatório cheio, a área tracionada é a externa ao módulo. Desta forma, a malha de armadura deverá ser

posicionada no centro de cada laje, possibilitando que os esforços atuantes em ambas as situações sejam combatidos.

Conforme o disposto no item 4.1, os furos possuem diâmetro de 32 mm e o espaçamento entre os seus centros equivale a 11 cm, o que pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 – Espaçamento entre os furos da parede lateral do módulo



VISTA LATERAL

(fonte: elaborado pelo autor)

Com os resultados obtidos e apresentados nas Tabelas 5 e 6, juntamente com a Tabela 7 apresentada abaixo, fez-se a escolha dos diâmetros das armaduras e de seus espaçamentos.

Tabela 7 – Áreas de armadura por unidade de comprimento (cm²/m) para diferentes bitolas e espaçamentos

	10 cm	11 cm	12 cm	13 cm	14 cm	15 cm	16 cm	17 cm	18 cm	19 cm	20 cm	21 cm	22 cm	23 cm	24 cm	25 cm
φ4,2	1,39	1,26	1,16	1,07	0,99	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,70	0,66	0,63	0,60	0,58	0,56
φ4,6	1,66	1,51	1,38	1,28	1,19	1,11	1,04	0,98	0,92	0,87	0,83	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66
φ5,0	1,96	1,78	1,63	1,51	1,40	1,31	1,23	1,15	1,09	1,03	0,98	0,93	0,89	0,85	0,82	0,78
φ5,5	2,38	2,16	1,98	1,83	1,70	1,59	1,49	1,40	1,32	1,25	1,19	1,13	1,08	1,03	0,99	0,95
φ6,0	2,83	2,57	2,36	2,18	2,02	1,89	1,77	1,66	1,57	1,49	1,42	1,35	1,29	1,23	1,18	1,13
φ6,3	3,12	2,84	2,60	2,40	2,23	2,08	1,95	1,84	1,73	1,64	1,56	1,49	1,42	1,36	1,30	1,25
φ6,4	3,22	2,93	2,68	2,48	2,30	2,15	2,01	1,89	1,79	1,69	1,61	1,53	1,46	1,40	1,34	1,29
φ7,0	3,85	3,50	3,21	2,96	2,75	2,57	2,41	2,26	2,14	2,03	1,93	1,83	1,75	1,67	1,60	1,54
φ8,0	5,03	4,57	4,19	3,87	3,59	3,35	3,14	2,96	2,79	2,65	2,52	2,40	2,29	2,19	2,10	2,01
φ9,5	7,09	6,45	5,91	5,45	5,06	4,73	4,43	4,17	3,94	3,73	3,55	3,38	3,22	3,08	2,95	2,84
φ10,0	7,85	7,14	6,54	6,04	5,61	5,23	4,91	4,62	4,36	4,13	3,93	3,74	3,57	3,41	3,27	3,14
φ12,5	12,27	11,15	10,23	9,44	8,76	8,18	7,67	7,22	6,82	6,46	6,14	5,84	5,58	5,33	5,11	4,91

(fonte: CAMPOS FILHO, A., 2014, p. 15)

A Tabela 7 fornece diversas possibilidades de diâmetro e espaçamento de armaduras para cada área de armadura por unidade de comprimento calculada. Para o caso do módulo de concreto, essas áreas são 1,05 e 1,50 cm². Logo, uma boa alternativa seria a utilização de barras de diâmetro 4,6 mm e espaçamento 11 cm para suprir a necessidade de 1,50 cm² de área de armadura e barras de diâmetro 4,2 mm e espaçamento 13 cm, para suprir a necessidade de 1,05 cm² de área de armadura. Entretanto, analisando-se o mostrado na Figura 18, percebeu-se que o ideal para ambas as armaduras é que o espaçamento entre elas fosse de 11 cm. Assim, mantiveram-se os diâmetros escolhidos e atribui-se espaçamento de 11 cm para ambas as armaduras.

4.12 CONSIDERAÇÕES

Pela análise das dimensões das armaduras obtidas, especialmente as que devem ser empregadas na laje de fundo, percebe-se que é necessário que essa laje possua 10 cm de espessura. A Tabela 6 indica que a armadura necessária no fundo do módulo equivale a 0,06 cm² e que a armadura mínima para uma laje de 7 cm de espessura, 1,05 cm². Portanto, é muito provável que o fundo do módulo possa apresentar espessura de 7 cm.

Existe também a possibilidade de se prever a tampa apoiada nas paredes, e não engastada nelas. Neste caso, as lajes das paredes seriam dimensionadas como se estivessem em balanço, ou seja, com uma borda engastada (na laje do fundo) e as outras três livres. Porém, o resultado provavelmente seria o mesmo: utilização de armadura mínima, pois o carregamento nas lajes do módulo é muito pequeno.

Por fim, é prudente destacar que os módulos instalados nas pontas da trincheira devem apresentar uma laje a mais, para que não ocorra o desmoronamento do solo para dentro do dispositivo. Neste caso, as vinculações entre as lajes do módulo seriam diferentes (três bordas engastadas e apenas uma livre) e seria necessário armá-las em duas direções. Acredita-se, entretanto, que o resultado não seria alterado: utilização de armadura mínima.

As duas alternativas supracitadas não foram dimensionadas nesse trabalho, pois até o momento de sua conclusão não eram conhecidos os resultados do uso do módulo de concreto em trincheiras de infiltração.

5 COMPARAÇÃO ENTRE OS PREENCHIMENTOS

Este capítulo trata da comparação entre dois tipos de preenchimento de trincheiras de infiltração: o tradicional, feito com brita, e o realizado com o módulo de concreto. Para tanto, foram abordados os aspectos econômicos e executivos de ambos, apresentados nos itens a seguir.

5.1 PREENCHIMENTO COM BRITA

Segundo Baptista et al. (2005), o preenchimento das trincheiras de infiltração é normalmente feito com material granular graúdo, como a brita. Tal material possui porosidade aproximada de 35%. Ou seja, a metade da porosidade do módulo de concreto estudado. Consequentemente, ele permite o armazenamento de apenas metade do volume de água que o módulo é capaz de armazenar.

Conforme o apresentado no capítulo anterior, o módulo de concreto possui as dimensões de 0,90 x 1,00 x 0,50 metros (largura x altura x comprimento). Isto permite afirmar que, para que uma trincheira de infiltração preenchida com brita possa armazenar o mesmo volume de água que um módulo, é necessário que ela tenha o dobro do seu comprimento. Isto é, a trincheira deve que apresentar, no mínimo, as dimensões de 0,90 x 1,00 x 1,00 metros (largura x altura x comprimento). Portanto, a verificação dos quantitativos e da execução do preenchimento será feita inicialmente com essas dimensões.

5.1.1 Execução

A execução das trincheiras de infiltração é um processo relativamente simples e rápido. Ela consiste basicamente das seguintes etapas:

- a) abertura da vala;
- b) colocação da manta geotêxtil;
- c) preenchimento da vala com o material granular.

Entretanto, o sucesso de funcionamento das trincheiras está intimamente relacionado às condições de construção destas estruturas e às práticas de manutenção. A seguir são apresentados alguns procedimentos de construção que podem minimizar o risco de colmatação precoce das estruturas de infiltração (SCHUELER, 1987).

- a) na área planejada para a infiltração deve-se evitar a utilização de equipamento pesado, que poderá compactar o solo;
- b) a trincheira deve ser escavada utilizando-se uma retroescavadeira equipada com esteira ou pneus “fora de estrada”. Pneus normais devem ser evitados, uma vez que eles compactam o subsolo e podem reduzir a capacidade de infiltração. Pela mesma razão, o uso de máquinas de grande porte deve ser evitado. O material escavado deve ser colocado a pelo menos três metros da trincheira para se evitar seu escorrimento de volta para a vala;
- c) o geotêxtil deve ser colocado alinhado com os lados e o fundo da trincheira, deixando uma considerável sobreposição na junção;
- d) o agregado grosso (como a brita) deve ser colocado limpo, em camadas, dentro da vala escavada, sendo levemente compactado. Material que não esteja suficientemente limpo pode provocar a colmatação precoce da estrutura.

De forma a tornar a execução aplicável às condições brasileiras, principalmente no que diz respeito aos equipamentos, prevê-se a utilização de retroescavadeira comum na escavação, não com esteiras, e de caminhão comum para a retirada do material escavado (e não dotado de pneus fora de estrada).

5.1.2 Quantitativos

O levantamento dos quantitativos foi feito conforme descrito nos itens a seguir e pode ser visualizado ao final, na Tabela 7.

5.1.2.1 Escavação

O volume de terra a ser escavado foi calculado prevendo-se uma folga de 10 cm no comprimento e na largura da trincheira, para que as possíveis irregularidades na escavação não reduzam o volume de armazenamento do dispositivo. Portanto, tem-se que:

$$V_{ESC} = C_V \cdot L_V \cdot P_V = 1,10 \text{ m}^3 \qquad \text{Equação 28}$$

Sendo:

V_{ESC} – volume a ser escavado (m^3);

C_V – comprimento da vala = $1,00\text{ m} + 0,10\text{ m} = 1,10\text{ m}$;

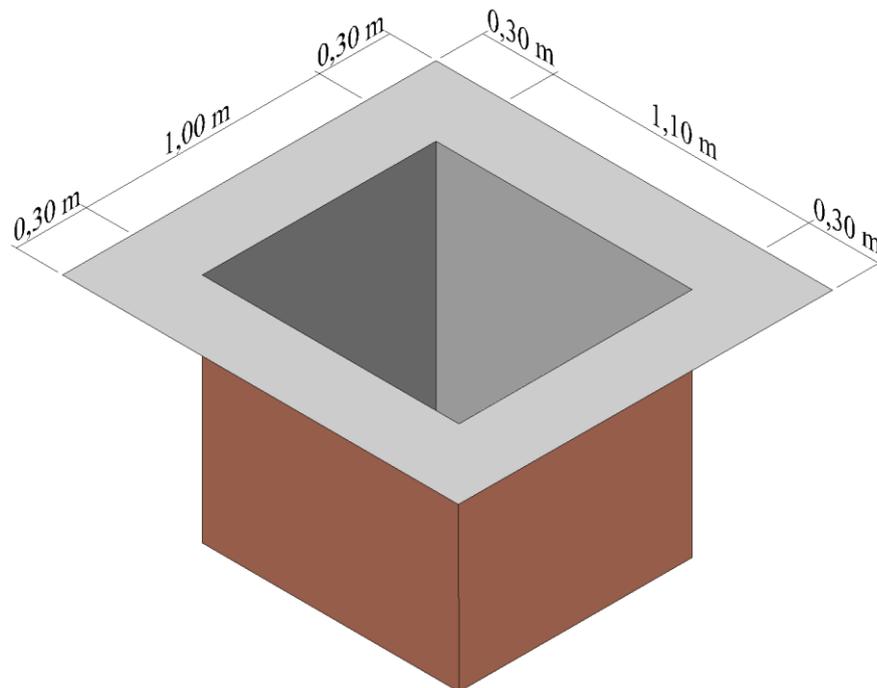
L_V – largura da vala = $0,90\text{ m} + 0,10\text{ m} = 1,00\text{ m}$;

P_V – profundidade da vala = $1,00\text{ m}$.

5.1.2.2 Manta geotêxtil

A manta geotêxtil deve cobrir todas as faces da trincheira (fundo e paredes) e, ainda, apresentar um excedente de 30 cm em cada uma de suas bordas, conforme o recomendado na alínea c do item 5.1.1. Além disso, devem-se evitar cortes durante a sua aplicação para que não se crie zonas que possam acelerar o processo de colmatação.

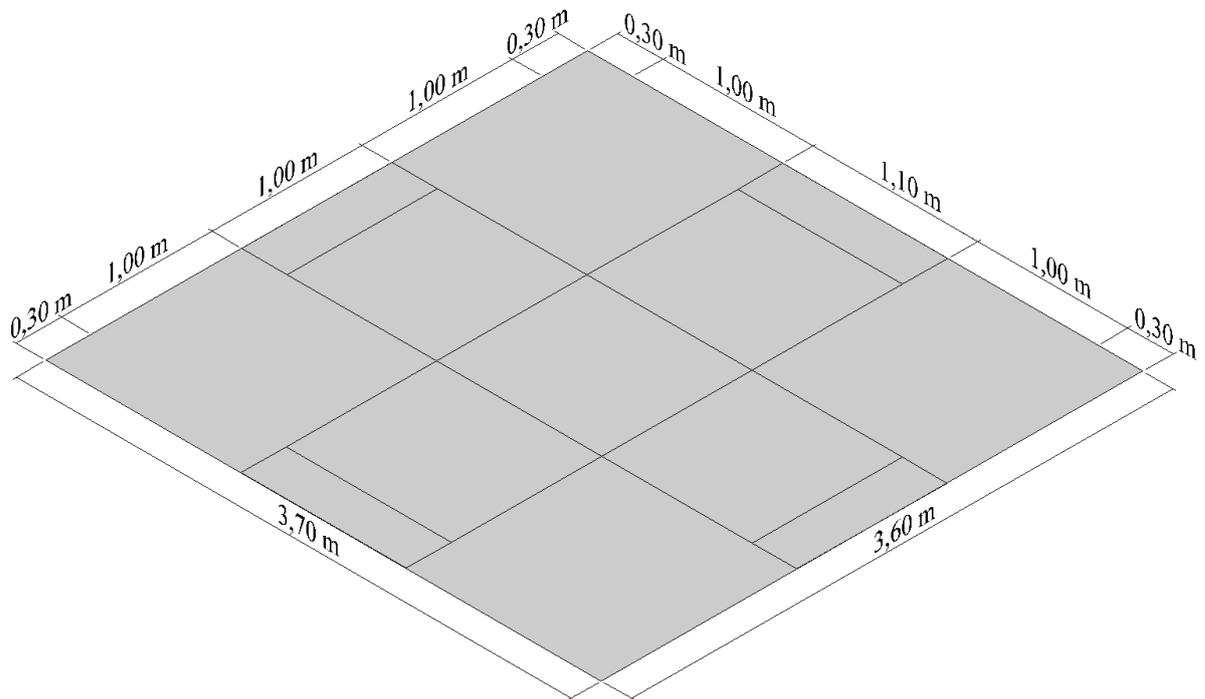
Figura 19 – Disposição da manta geotêxtil na trincheira



(fonte: elaborado pelo autor)

Para a estimativa da área de geotêxtil necessária imaginam-se as cinco faces da trincheira postas em um mesmo plano, como mostra a Figura 20. A partir disto, multiplicam-se os comprimentos totais nos dois sentidos e, assim, obtém-se a área.

Figura 20 – Manta geotêxtil estendida no plano



(fonte: elaborado pelo autor)

Desta maneira, a área necessária de geotêxtil fica:

$$A_G = 3,70 \cdot 3,60 = 13,32 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 29}$$

Sendo:

A_G – área de geotêxtil (m^2).

5.1.2.3 Brita

O volume de brita a ser utilizado no preenchimento da trincheira será o mesmo que o volume de terra escavado. Assim,

$$V_{\text{BRI}} = V_{\text{ESC}} = 1,10 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 30}$$

Sendo:

V_{BRI} – volume de brita (m^3).

5.1.2.4 Mão de obra

Pressupõe-se que para a execução da trincheira com as referidas dimensões é suficiente um trabalhador que preste serviço durante duas horas. Estima-se que o operador da retroescavadeira consegue escavar e preencher a trincheira com brita em menos de uma hora. Da mesma forma, o caminhão que transportará o material escavado será utilizado por menos de uma hora também.

Tabela 8 – Quantitativos para a trincheira preenchida com brita

ITEM	QTDD. UN.
1. PREENCHIMENTO COM BRITA	
1.1 Escavação	1,10 m^3
1.2 Manta geotêxtil	13,32 m^2
1.3 Brita nº 3	1,10 m^3
1.4 Servente	2,00 h
1.5 Retroescavadeira	1,00 h
1.6 Caminhão	1,00 h

(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.3 Orçamento

A elaboração do orçamento foi feita com base nas tabelas de insumos e composições do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL et al., 2015) referentes ao mês de abril de 2015.

Tabela 9 – Orçamento da trincheira preenchida com brita

ITEM	COD SINAPI	PREÇO UN.	QTDD. UN.	PREÇO TOTAL
1. PREENCHIMENTO COM BRITA				
1.1 Escavação mecânica em campo aberto em solo exceto rocha até 2 metros de profundidade	79480	2,69	1,10 m ³	2,96
1.2 Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster RT 09 p/ drenagem tipo bidim ou equiv	4013	5,00	13,32 m ²	66,60
1.3 Pedra britada nº 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	4722	45,00	1,10 m ³	49,50
1.4 Servente	6111	8,84	2,00 h	17,68
1.5 Retroescavadeira c/ carregadeira sobre pneus 76H transmissão mecânica (incl manutenção/operação e combustível)	6042	85,05	1,00 h	85,05
1.6 Caminhão c/ carroceria madeira fixa - cap carga até 5,0 ton (incl manut/operação)	1140	40,53	1,00 h	40,53
TOTAL				R\$ 262,32

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 PREENCHIMENTO COM O MÓDULO DE CONCRETO

O preenchimento de uma trincheira de infiltração com o módulo de concreto aparece como alternativa interessante uma vez que se verifica a alta porosidade desse material (aproximadamente 71%). Entretanto, há outros aspectos que devem ser verificados antes de se tomar qualquer conclusão. Nos itens a seguir, foram feitos a avaliação do processo construtivo do módulo e, após, o levantamento de quantitativos e orçamento.

5.2.1 Execução

O processo de construção do módulo de concreto representa uma dificuldade frente ao simples preenchimento com brita. Isto se deve ao fato de a estrutura ser armada e possuir diversos furos em suas laterais e tampa. Mesmo assim, acredita-se que seja possível moldá-la em obra com o auxílio de chapas de madeira compensada e tubos de PVC. É importante ressaltar que o método descrito a seguir não pôde ser testado, por isso, pode não ter validade.

As lajes do módulo, inclusive a tampa, conforme fora abordado no capítulo anterior, são engastadas entre si. Isto é, o módulo será confeccionado em um único processo de concretagem. As formas devem ser perfuradas com diâmetros iguais ao dos tubos de PVC nas posições previstas e sugere-se que todas elas sejam postas na vertical.

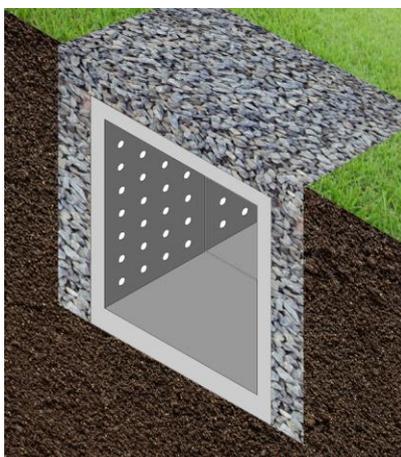
As armaduras devem ser colocadas no centro de cada laje e estar espaçadas 11 cm entre si, de acordo com o apresentado no item 4.11.1. Sugere-se que elas estejam penduradas nas próprias formas até que o processo de concretagem esteja concluído.

Uma vez montadas as formas e posicionados adequadamente as armaduras e os tubos de PVC, dá-se início ao lançamento de concreto para dentro dos moldes. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) recomenda a utilização de concreto f_{ck} 20 MPa (o valor mínimo para estruturas de concreto armado), sendo este o concreto utilizado no presente trabalho. Esta é uma etapa delicada na confecção do módulo e deve-se tomar o cuidado para que concreto preencha todos os espaços vazios dentro das formas.

Após o concreto atingir rigidez adequada, retiram-se os tubos de PVC e as formas, os quais podem ser reutilizados na confecção de novos módulos.

O resto do procedimento de execução da trincheira é muito semelhante ao descrito no item 5.1.1. Ou seja, faz-se a abertura mecânica da vala, coloca-se a manta geotêxtil e, então, assenta-se o módulo de concreto com auxílio da retroescavadeira. O vazio remanescente entre as faces externas do módulo e a manta geotêxtil deve ser preenchido com brita de diâmetro suficiente para que não ocorra a entrada de grãos na parte interna do módulo. Ao final, deve-se ter algo semelhante ao apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Vista em corte de uma trincheira de infiltração preenchida com módulos em concreto



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2 Quantitativos

O levantamento dos quantitativos foi feito conforme descrito nos itens a seguir e pode ser visualizado ao final, na Tabela 10.

5.2.2.1 Escavação

O volume de terra a ser escavado foi calculado prevendo-se uma folga de 10 cm no comprimento e na largura da trincheira, a fim de se facilitar o assentamento do módulo dentro da trincheira. Está prevista também a execução de uma camada de 10 cm de brita acima do módulo, portanto, acrescenta-se 10 cm na profundidade de escavação. Com isso, tem-se que:

$$V_{ESC} = C_V \cdot L_V \cdot P_V = 0,66 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 31}$$

Sendo:

V_{ESC} – volume a ser escavado (m^3);

C_V – comprimento da vala = $0,50 \text{ m} + 0,10 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$;

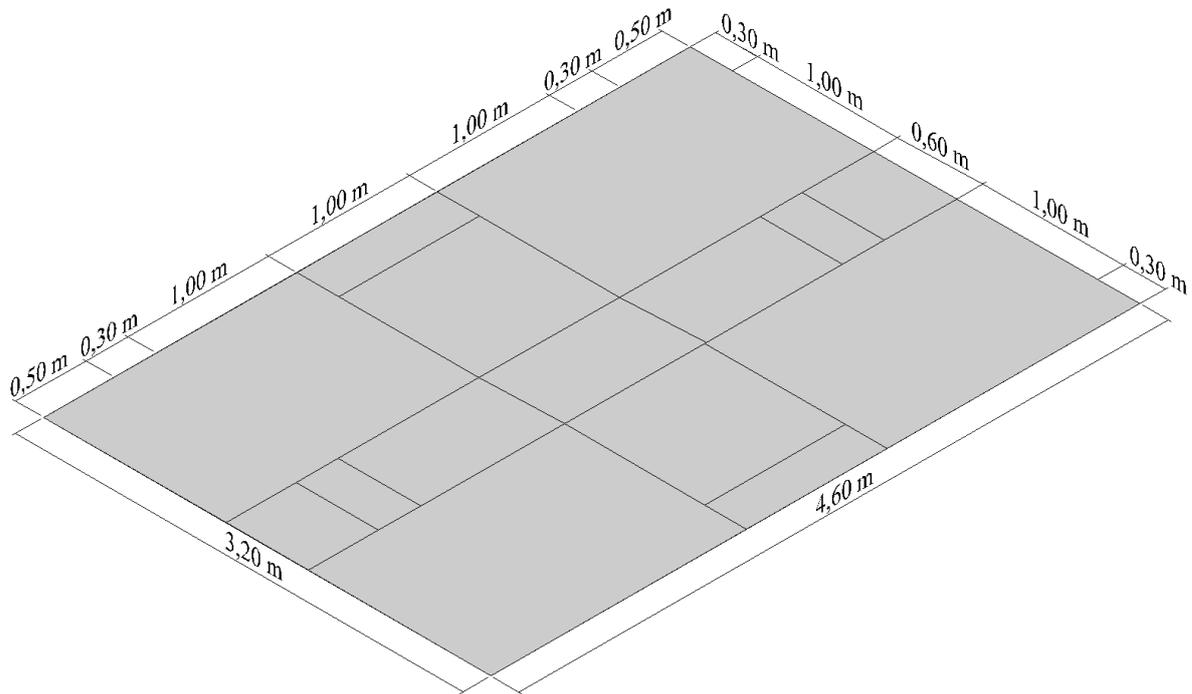
L_V – largura da vala = $0,90 \text{ m} + 0,10 \text{ m} = 1,00 \text{ m}$;

P_V – profundidade da vala = $1,00 \text{ m} + 0,10 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$.

5.2.2.2 Manta geotêxtil

A manta geotêxtil deve cobrir todas as faces da trincheira (fundo e paredes) e, ainda, ser capaz de cobrir a tampa do módulo de concreto após o seu assentamento. Desta forma, a estimativa da área de geotêxtil necessária é feita imaginando-se as cinco faces da trincheira e a da tampa do módulo de concreto postas em um mesmo plano, como mostra a Figura 22, e multiplicando-se os comprimentos totais nos dois sentidos.

Figura 22 – Manta geotêxtil estendida no plano (usada com o módulo)



(fonte: elaborado pelo autor)

Desta maneira, a área necessária de geotêxtil fica:

$$A_G = 3,20 \cdot 4,60 = 14,72 \text{ m}^2$$

Equação 32

Sendo:

A_G – área de geotêxtil (m^2).

5.2.2.3 Brita

Após o assentamento do módulo de concreto dentro da trincheira, observa-se um espaço vazio entre as paredes do módulo e as paredes da trincheira. Este volume deve ser preenchido com brita nº3, cuja granulometria é maior que os furos do módulo. Além disso, deve-se executar uma camada de aproximadamente 10 cm de brita acima da tampa do módulo, a fim de proteger a manta geotêxtil que a cobre. Assim, tem-se que o volume total de brita necessário para o adequado preenchimento da trincheira com um módulo de concreto é:

$$V_{BRI} = V_{ESC} - V_{MOD} = 0,21 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 33}$$

Sendo:

V_{BRI} – volume de brita (m^3);

V_{ESC} – volume de terra a ser escavado = $0,66 \text{ m}^3$;

V_{MOD} – volume ocupado por um módulo de concreto = $0,45 \text{ m}^3$.

5.2.2.4 Concreto

O volume de concreto f_{ck} 20 MPa necessário é dado pela seguinte equação:

$$V_{CON} = V_{MOD} - V_{ARM} = 0,134 \text{ m}^3 \quad \text{Equação 34}$$

Sendo:

V_{CON} – volume de concreto necessário para confecção de um módulo (m^3);

V_{MOD} – volume ocupado por um módulo de concreto = $0,45 \text{ m}^3$.

V_{ARM} – capacidade de armazenamento de um módulo = $0,316 \text{ m}^3$.

5.2.2.5 Armaduras

Com base no dimensionamento estrutural do módulo apresentado no Capítulo 4, conclui-se que é necessária a seguinte quantidade de barras de aço para a confecção de um módulo de concreto:

$$Q_{B, 4,2} = N_{B, 4,2} \cdot (2 \cdot H + L) \cdot P_{B, 4,2} = 1,58 \text{ kg} \quad \text{Equação 35}$$

$$Q_{B, 4,6} = N_{B, 4,6} \cdot L \cdot P_{B, 4,6} = 0,59 \text{ kg} \quad \text{Equação 36}$$

Sendo:

$Q_{B, 4,2}$ – quantidade de barras de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm (kg);

$Q_{B, 4,6}$ – quantidade de barras de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm (kg);

$N_{B, 4,2}$ – número de barras de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm utilizadas em uma laje = 5;

$N_{B, 4,6}$ – número de barras de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm utilizadas em uma laje = 5;

$P_{B, 4,2}$ – peso por metro de barra de aço CA-60 $\phi 4,2$ mm = 0,109 kg/m;

$P_{B, 4,6}$ – peso por metro de barra de aço CA-60 $\phi 4,6$ mm = 0,131 kg/m;

H – altura do módulo = 1,00 m;

L – largura do módulo = 0,90 m.

5.2.2.6 Formas

As formas devem ser suficientes para cobrir as faces externas e internas do módulo. Desta forma, é possível estimar a quantidade necessária através da seguinte fórmula:

$$A_{\text{FORMAS}} = 2 (A_{\text{EP}} + A_{\text{EF}} + A_{\text{IP}} + A_{\text{IF}}) = 3,5 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 37}$$

Sendo:

A_{FORMAS} – área de forma necessária para confecção de um módulo (m^2);

A_{EP} – área da face externa da parede do módulo = 0,50 m^2 ;

A_{EF} – área da face externa do fundo do módulo = 0,45 m^2 ;

A_{IP} – área da face interna da parede do módulo = 0,42 m^2 ;

A_{IF} – área da face interna do fundo do módulo = 0,38 m^2 .

5.2.2.7 Tubos de PVC

Os furos que constam nas paredes e tampa do módulo de concreto serão criados durante o processo de concretagem com a inserção de tocos de PVC DN 32 mm entre as formas. Como as espessuras da laje e da tampa são iguais a 7 cm, assume-se que tocos de 13 cm de comprimento são suficientes para a confecção dos 92 furos existentes em cada módulo. Desta forma, tem-se que:

$$C_{\text{TUBOS}} = 92 \cdot 0,13 \text{ m} = 11,96 \text{ m} \quad \text{Equação 38}$$

Sendo:

C_{TUBOS} – comprimento total de tubo PVC DN 32 mm (m).

5.2.2.8 Mão de obra

Os processos de confecção do módulo e colocação da manta podem ser realizados por um único trabalhador em até 4 horas. Entretanto, dado o peso de um módulo (aproximadamente 340 kg), o seu assentamento na trincheira deve ser feito com o auxílio de uma retroescavadeira, que irá içá-lo e posicioná-lo da maneira adequada. Aproveita-se a retroescavadeira para executar a escavação da vala e o seu preenchimento final com brita.

Tabela 10 – Quantitativos para a trincheira preenchida com o módulo

ITEM	QTDD. UN.
2. PREENCHIMENTO COM MÓDULO DE CONCRETO	
2.1 Escavação	0,66 m ³
2.2 Manta geotêxtil	14,72 m ²
2.3 Brita nº 3	0,21 m ³
2.4 Concreto fck 20 Mpa	0,135 m ³
2.5 Aço CA-60 DN 4,2 mm	1,58 kg
2.6 Aço CA-60 DN 4,6 mm	0,59 kg
2.7 Formas	3,49 m ²
2.8 Tubo PVC DN32mm	11,96 m
2.9 Servente	4,00 h
2.10 Retroescavadeira	1,00 h
2.11 Caminhão	1,00 h

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.3 Orçamento

A elaboração do orçamento apresentado a seguir foi feita com base nas tabelas de insumos e composições do SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL et al., 2015) referentes ao mês de abril de 2015.

Tabela 11 – Orçamento da trincheira preenchida com um módulo de concreto

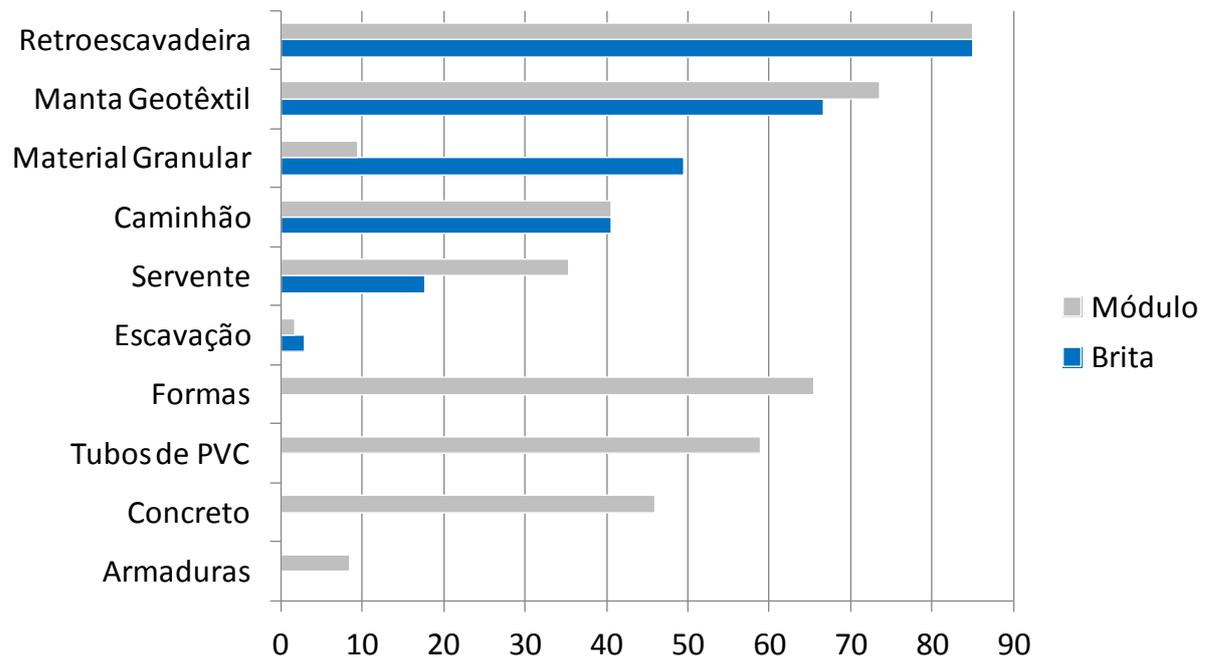
ITEM	COD SINAPI	PREÇO UN.	QTDD. UN.	PREÇO TOTAL
2. PREENCHIMENTO COM MÓDULO DE CONCRETO				
2.1 Escavação mecânica em campo aberto em solo exceto rocha até 2 metros de profundidade	79480	2,69	0,66 m ³	1,78
2.2 Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster RT 09 p/ drenagem tipo bidim ou equiv	4013	5,00	14,72 m ²	73,60
2.3 Pedra britada nº 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	4722	45,00	0,21 m ³	9,45
2.4 Concreto fck=20MPa, virado em betoneira, sem lançamento	73972/002	341,08	0,13 m ³	45,91
2.5 Aço CA-60 DN 4,2 mm	36	3,89	1,58 kg	6,15
2.6 Aço CA-60 DN 4,6 mm	36	3,89	0,59 kg	2,29
2.7 Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, de 2,2*1,1 m, e = 14 mm	1355	18,76	3,49 m ²	65,47
2.8 Tubo PVC, soldável, DN 32, água fria NBR 5648	9869	4,93	11,96 m	58,96
2.9 Servente	6111	8,84	4,00 h	35,36
2.10 Retroescavadeira c/ carregadeira sobre pneus 76H transmissão mecânica (incl manutenção/operação e combustível)	6042	85,05	1,00 h	85,05
2.11 Caminhão c/ carroceria madeira fixa - cap carga até 5,0 ton (incl manut/operação)	1140	40,53	1,00 h	40,53
TOTAL				R\$ 424,55

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 RESULTADOS

Como pode ser visto nas Tabelas 8 e 10, o custo de execução de uma trincheira de infiltração preenchida com um único módulo de concreto é muito superior ao de uma trincheira equivalente preenchida com brita (62% a mais). A Figura 23 coloca em evidência o peso do custo do processo de confecção do módulo em concreto sobre o custo da execução do preenchimento da trincheira com brita.

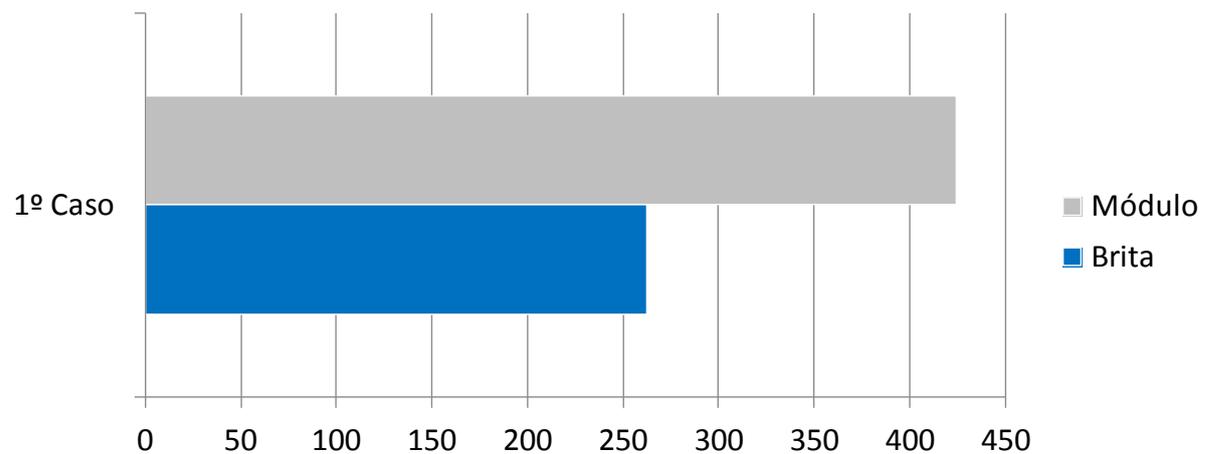
Figura 23 – Resultados em termos de custo da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com um módulo em concreto



(fonte: elaborado pelo autor)

Já a Figura 24 apresenta o resultado da comparação entre as duas trincheiras em termos de custo total.

Figura 24 – Resultados em termos de custo total da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com um módulo em concreto



(fonte: elaborado pelo autor)

Contudo, sabe-se que na prática não se costuma executar trincheiras tão pequenas quanto as utilizadas na análise orçamentária acima apresentada. Sendo assim, fez-se uma nova comparação de custos, desta vez entre trincheiras maiores.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE TRINCHEIRAS MAIORES

O levantamento de quantitativos e o orçamento apresentados a seguir são referentes a uma trincheira preenchida com brita com as seguintes dimensões:

- a) comprimento: 5 metros;
- b) largura: 0,90 metros;
- c) altura: 1,00 metro.

Essa trincheira é capaz de armazenar o mesmo volume de água que uma trincheira preenchida com cinco módulos de concreto. Ou seja, uma trincheira com as seguintes dimensões:

- d) comprimento: 2,5 metros;
- e) largura: 0,90 metros;
- f) altura: 1,00 metro.

A metodologia para o levantamento de quantitativos é a mesma utilizada nos itens 5.1.2 e 5.2.2. A única ressalva fica por conta das formas e tubos de PVC, os quais serão reutilizados na confecção dos quatro módulos adicionais. Sendo assim, chegou-se ao apresentado nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 a seguir.

Tabela 12 – Quantitativos para a trincheira de 5 metros preenchida com brita

ITEM	QTDD. UN.
1. PREENCHIMENTO COM BRITA	
1.1 Escavação	5,10 m ³
1.2 Manta geotêxtil	27,72 m ²
1.3 Brita nº 3	5,10 m ³
1.4 Servente	2,00 h
1.5 Retroescavadeira	2,00 h
1.6 Caminhão	1,00 h

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 13 – Quantitativos para a trincheira preenchida com cinco módulos

ITEM	QTDD. UN.
2. PREENCHIMENTO COM MÓDULO DE CONCRETO	
2.1 Escavação	2,86 m ³
2.2 Manta geotêxtil	18,72 m ²
2.3 Brita nº 3	0,61 m ³
2.4 Concreto fck 20 Mpa	0,67 m ³
2.5 Aço CA-60 DN 4,2 mm	7,90 kg
2.6 Aço CA-60 DN 4,6 mm	2,95 kg
2.7 Formas	3,49 m ²
2.8 Tubo PVC DN32mm	11,96 m
2.9 Servente	8,00 h
2.10 Retroescavadeira	1,00 h
2.11 Caminhão	1,00 h

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 14 – Orçamento da trincheira de 5 metros preenchida com brita

ITEM	COD SINAPI	PREÇO UN.	QTDD. UN.	PREÇO TOTAL
1. PREENCHIMENTO COM BRITA				
1.1 Escavação mecânica em campo aberto em solo exceto rocha até 2 metros de profundidade	79480	2,69	5,10 m ³	13,72
1.2 Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster RT 09 p/ drenagem tipo bidim ou equiv	4013	5,00	27,72 m ²	138,60
1.3 Pedra britada nº 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	4722	45,00	5,10 m ³	229,50
1.4 Servente	6111	8,84	2,00 h	17,68
1.5 Retroescavadeira c/ carregadeira sobre pneus 76H transmissão mecânica (incl manutenção/operação e combustível)	6042	85,05	2,00 h	170,10
1.6 Caminhão c/ carroceria madeira fixa - cap carga até 5,0 ton (incl manut/operação)	1140	40,53	1,00 h	40,53
TOTAL				610,13

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 15 – Orçamento da trincheira preenchida com cinco módulos

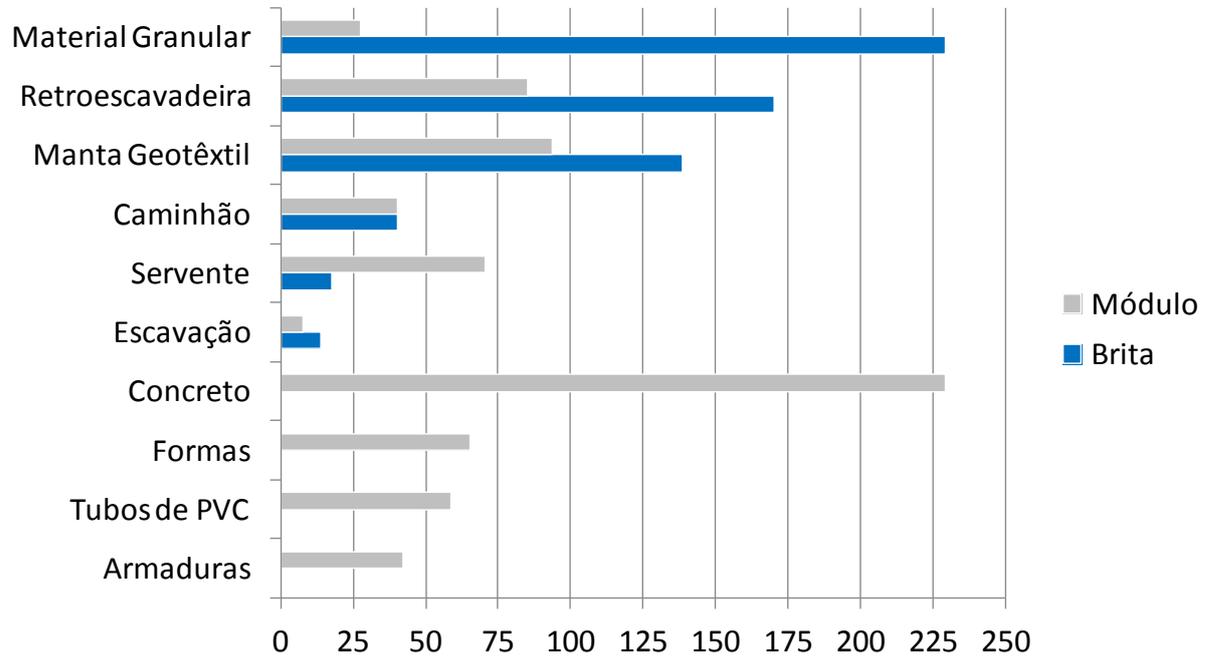
ITEM	COD SINAPI	PREÇO UN.	QTDD.	UN.	PREÇO TOTAL
2. PREENCHIMENTO COM MÓDULO DE CONCRETO					
2.1 Escavação mecânica em campo aberto em solo exceto rocha até 2 metros de profundidade	79480	2,69	2,86 m ³		7,69
2.2 Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster RT 09 p/ drenagem tipo bidim ou equiv	4013	5,00	18,72 m ²		93,60
2.3 Pedra britada nº 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	4722	45,00	0,61 m ³		27,45
2.4 Concreto fck=20MPa, virado em betoneira, sem lançamento	73972/002	341,08	0,67 m ³		229,55
2.5 Aço CA-60 DN 4,2 mm	36	3,89	7,90 kg		30,74
2.6 Aço CA-60 DN 4,6 mm	36	3,89	2,95 kg		11,47
2.7 Chapa de madeira compensada resinada para forma de concreto, de 2,2*1,1 m, e = 14 mm	1355	18,76	3,49 m ²		65,47
2.8 Tubo PVC, soldável, DN 32, água fria NBR 5648	9869	4,93	11,96 m		58,96
2.9 Servente	6111	8,84	8,00 h		70,72
2.10 Retroescavadeira c/ carregadeira sobre pneus 76H transmissão mecanica (incl manutenção/operação e combustível)	6042	85,05	1,00 h		85,05
2.11 Caminhão c/ carroceria madeira fixa - cap carga até 5,0 ton (incl manut/operação)	1140	40,53	1,00 h		40,53
TOTAL					721,23

(fonte: elaborado pelo autor)

5.5 RESULTADOS DA SEGUNDA COMPARAÇÃO

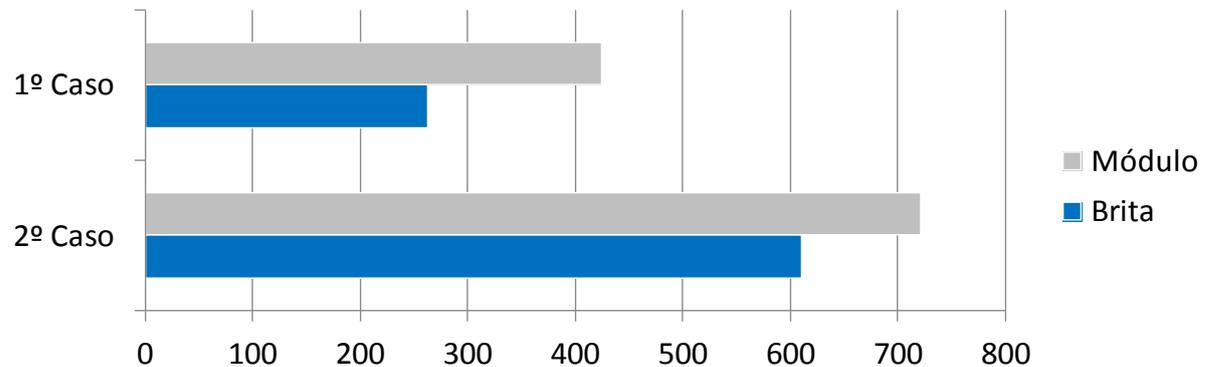
A partir da comparação entre os novos orçamentos (apresentados na Figura 25), observa-se que a diferença entre os valores totais é bem menos significativa do que a da primeira comparação (ver Figura 26). No primeiro caso, obteve-se um orçamento 62% maior para o módulo de concreto, ao passo que no segundo, apenas 18%. Isso nos leva a pensar que para trincheiras ainda maiores, a opção pela utilização de módulos em concreto armado pode ser vantajosa. Entretanto, vale destacar que a reutilização de formas não é ilimitada e poderá haver a necessidade de se orçar quantidades maiores.

Figura 25 - Resultados em termos de custo da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com cinco módulos em concretos



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 26 - Resultados em termos de custo total da comparação entre uma trincheira preenchida com brita e outra com cinco módulos em concretos



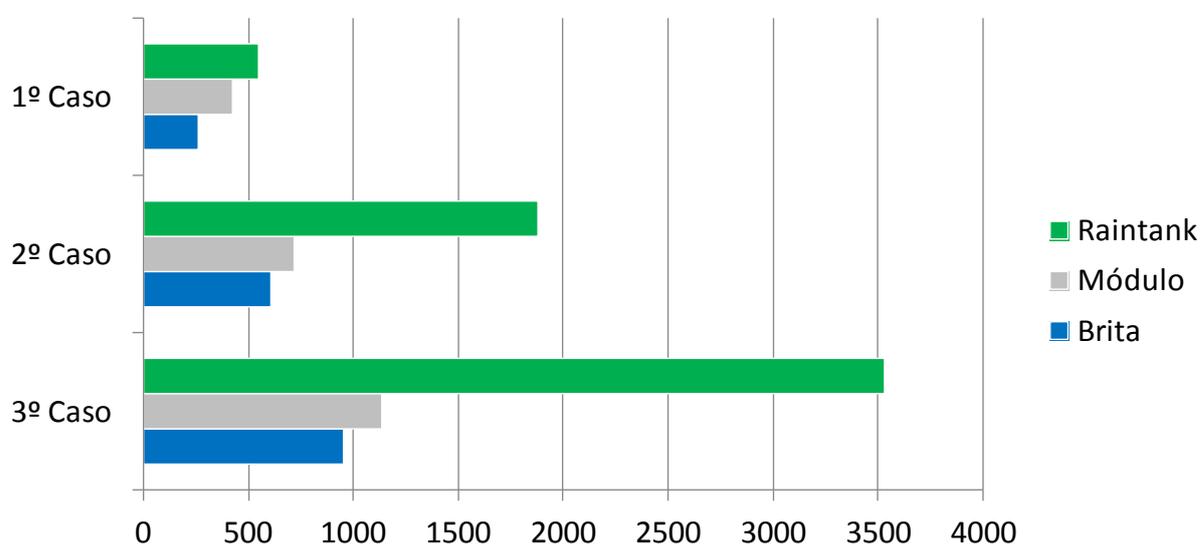
(fonte: elaborado pelo autor)

5.6 PREENCHIMENTO COM MÓDULOS D-RAINTANK[®]

Complementarmente foi feita uma breve estimativa de custo de trincheiras preenchidas com os módulos D-Raintank[®], cujo custo e capacidade de armazenamento foram apresentados no

item 3.1.1.3, assumindo o processo executivo semelhante ao mencionado no item 5.2.1. Esta comparação foi feita com as mesmas trincheiras utilizadas nos itens 5.1, 5.2 e 5.4 e, também, entre uma trincheira de 10 metros de comprimento preenchida com brita e outra de 5 metros de comprimento preenchida com 10 módulos em concreto. A estimativa de custo do preenchimento com brita e com módulos em concreto segue o mesmo raciocínio já descrito nos itens anteriores, não sendo, portanto, apresentada aqui. O resultado em termos de custo total pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27 – Resultados em termos de custo total da execução de três tipos de preenchimento de trincheiras para três trincheiras de tamanho diferentes



(fonte: elaborado pelo autor)

A partir do resultado apresentado na Figura 27, percebe-se que, embora o custo da utilização de módulos de concreto no preenchimento de trincheiras de infiltração seja superior ao custo do preenchimento com brita, ele é significativamente inferior ao do preenchimento com módulos D-Raintank®, especialmente nos 2º e 3º casos, em que as trincheiras possuem dimensões cinco e dez vezes maiores que a do primeiro caso, respectivamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito deste trabalho era analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização de módulos em concreto para o preenchimento de trincheiras de infiltração. Em um primeiro momento, esta alternativa parecia ser bastante interessante pela sua alta capacidade de armazenamento das águas de origem pluvial. Outro fator que enalteceu a escolha pelo estudo do módulo foi a utilização de materiais de fácil acesso para a sua confecção, como cimento, areia, brita, armaduras e formas, facilmente encontradas no mercado brasileiro.

Contudo, a hipótese de que o custo de construção do módulo seria inferior ao do preenchimento com brita de uma trincheira de infiltração não foi confirmada. Pensava-se que, embora o custo dos materiais necessários para a confecção do módulo pudesse ser superior ao de uma grande quantidade de brita (utilizada no preenchimento tradicional), o gasto com escavação poderia compensar essa diferença, o que acabou não acontecendo. Entretanto, sabe-se que é possível produzir os módulos de concreto em fábrica e que normalmente essa produção, especialmente quando em larga escala, é economicamente mais atrativa do que as moldadas em obra.

Reforçando a possibilidade de produção em fábrica está o fato de que a confecção do módulo em obra é um processo lento, por fazer a máxima reutilização de formas possível, e arriscada – as interferências criadas com a colocação de tubos de PVC e das próprias armaduras dentro das formas podem contribuir para a criação de espaços vazios nas lajes do módulo durante o processo de concretagem, comprometendo não apenas as suas funções estruturais, mas também a vida útil do dispositivo.

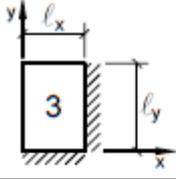
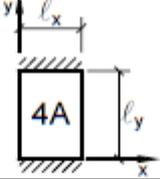
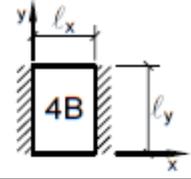
Por fim, assim como as alternativas de preenchimento apresentadas no capítulo 3 – Ecodreno, Nidaplast[®] EP e Atlantis D-Raintank[®] – o módulo estudado possui alta porosidade, característica que o coloca, neste aspecto, em grande vantagem sobre o preenchimento tradicional com brita. Ou seja, em locais onde o espaço é restrito, a opção pelos módulos de concreto, mesmo que possua custo um pouco superior, representa uma boa alternativa ao preenchimento de trincheiras de infiltração.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. de. **Curso de concreto armado**. v.4, 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2005.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**: relatórios de insumos e composições. Mês de referência: abr/2015. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx#categoria_660>. Acesso em: 31 maio 2015.
- CAMPOS FILHO, A. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. 2014. 45 f. Apostila. Escola de Engenharia / Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- ECOTELHADO. Ecodreno. Disponível em: <<http://ecotelhado.com/portfolio/pavimento-permeavel-impermeavel-reservatorio-trincheira-jardimdechuva/>>. Acesso em: 31 maio 2015.
- MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H.; GRACIOSA, M. C. P. Metodologia para o dimensionamento de trincheiras de infiltração para o controle do escoamento superficial na origem. **Revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 207-214, abr./jun., 2008.
- NIDAPLAST. Nidaplast Ultra Light Cellular Structure for the storage of rainwater. Disponível em: <<http://www.nidaplast.com/en-uk/products/nidaplast-ep>>. Acesso em: 31 maio 2015.
- PINHEIRO, L. M. **Tabelas de lajes**. 2007. 24 f. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano diretor de drenagem urbana**: manual de drenagem urbana. Porto Alegre, 2005. v. 6.
- RAINHARVEST. Atlantis D-Raintank® Modular Rainwater Storage System. Disponível em: <<http://www.rainharvest.com/atlantis-d-aintank-modular-rainwater-storage-system.asp>>. Acesso em: 31 maio 2015.
- SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff**: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista brasileira de recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar., 2000.

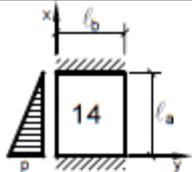
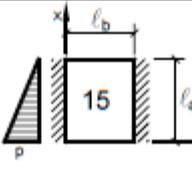
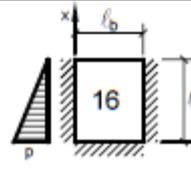
_____. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4. ed. 5 reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

ANEXO A – Tabela de Lajes

Tabela 2.3b											
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME											
Tipo											Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,69	6,99	2,69	6,99	2,01	3,09	6,99	3,09	6,99	2,01	1,00
1,05	2,94	7,43	2,68	7,18	2,32	3,23	7,43	3,22	7,20	1,92	1,05
1,10	3,19	7,87	2,67	7,36	2,63	3,36	7,87	3,35	7,41	1,83	1,10
1,15	3,42	8,28	2,65	7,50	2,93	3,46	8,26	3,46	7,56	1,73	1,15
1,20	3,65	8,69	2,62	7,63	3,22	3,56	8,65	3,57	7,70	1,63	1,20
1,25	3,86	9,03	2,56	7,72	3,63	3,64	9,03	3,66	7,82	1,56	1,25
1,30	4,06	9,37	2,50	7,81	3,99	3,72	9,33	3,74	7,93	1,49	1,30
1,35	4,24	9,65	2,45	7,88	4,34	3,77	9,69	3,80	8,02	1,41	1,35
1,40	4,42	9,93	2,39	7,94	4,69	3,82	10,00	3,86	8,11	1,33	1,40
1,45	4,58	10,17	2,32	8,00	5,03	3,86	10,25	3,91	8,13	1,26	1,45
1,50	4,73	10,41	2,25	8,06	5,37	3,90	10,49	3,96	8,15	1,19	1,50
1,55	4,86	10,62	2,16	8,09	5,70	3,90	10,70	4,00	8,20	1,14	1,55
1,60	4,99	10,82	2,07	8,12	6,03	3,89	10,91	4,04	8,25	1,08	1,60
1,65	5,10	10,99	1,99	8,14	6,35	3,85	11,08	4,07	8,28	1,03	1,65
1,70	5,21	11,16	1,91	8,15	6,67	3,81	11,24	4,10	8,30	0,98	1,70
1,75	5,31	11,30	1,85	8,16	6,97	3,79	11,39	4,12	8,31	0,95	1,75
1,80	5,40	11,43	1,78	8,17	7,27	3,76	11,53	4,14	8,32	0,91	1,80
1,85	5,48	11,55	1,72	8,17	7,55	3,72	11,65	4,15	8,33	0,87	1,85
1,90	5,56	11,67	1,66	8,18	7,82	3,67	11,77	4,16	8,33	0,83	1,90
1,95	5,63	11,78	1,63	8,19	8,09	3,60	11,83	4,16	8,33	0,80	1,95
2,00	5,70	11,89	1,60	8,20	8,35	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,60	8,20	12,50	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p l_x^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $l_x =$ menor vão

TABELA 2.4b													
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA TRIANGULAR													
Tipo													Tipo
$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	μ_x	μ'_{xi}	μ'_{xs}	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	
< 0,50	2,15	5,00	3,33	0,68	6,41	1,80	6,12	2,98	6,67	0,96	3,60	< 0,50	
0,50	2,13	5,12	3,36	0,68	4,42	1,80	6,12	2,59	6,14	0,96	3,60	0,50	
0,55	2,11	5,09	3,35	0,73	3,97	1,87	5,87	2,43	5,90	0,93	3,59	0,55	
0,60	2,08	5,06	3,33	0,78	3,52	1,94	5,61	2,27	5,65	0,89	3,58	0,60	
0,65	2,04	5,00	3,29	0,83	3,15	1,96	5,42	2,10	5,35	1,03	3,53	0,65	
0,70	1,99	4,93	3,24	0,88	2,78	1,98	5,22	1,92	5,05	1,16	3,47	0,70	
0,75	1,93	4,83	3,17	0,92	2,52	1,94	4,99	1,75	4,75	1,21	3,38	0,75	
0,80	1,87	4,72	3,09	0,95	2,26	1,89	4,75	1,57	4,45	1,25	3,28	0,80	
0,85	1,81	4,64	3,00	0,97	2,08	1,83	4,49	1,45	4,47	1,24	3,17	0,85	
0,90	1,74	4,56	2,90	0,99	1,86	1,77	4,23	1,33	3,89	1,23	3,06	0,90	
0,95	1,67	4,44	2,79	1,00	1,69	1,69	3,99	1,22	3,65	1,21	2,96	0,95	
1,00	1,60	4,32	2,67	1,01	1,51	1,62	3,75	1,11	3,40	1,19	2,85	1,00	
1,05	1,70	4,64	2,81	1,18	1,52	1,72	3,89	1,13	3,50	1,29	3,03	1,05	
1,10	1,79	4,96	2,94	1,34	1,54	1,81	4,02	1,15	3,60	1,38	3,20	1,10	
1,15	1,87	5,23	3,03	1,51	1,55	1,89	4,14	1,15	3,69	1,47	3,36	1,15	
1,20	1,94	5,50	3,15	1,67	1,56	1,97	4,26	1,16	3,78	1,54	3,51	1,20	
1,25	2,02	5,75	3,23	1,84	1,53	2,04	4,38	1,16	3,84	1,61	3,66	1,25	
1,30	2,06	6,05	3,31	2,02	1,52	2,10	4,46	1,17	3,94	1,67	3,78	1,30	
1,35	2,11	6,33	3,35	2,21	1,50	2,17	4,57	1,18	3,99	1,73	3,92	1,35	
1,40	2,15	6,61	3,39	2,39	1,47	2,23	4,67	1,19	4,05	1,79	4,05	1,40	
1,45	2,18	6,82	3,45	2,56	1,46	2,28	4,75	1,20	4,11	1,84	4,16	1,45	
1,50	2,21	7,04	3,51	2,72	1,44	2,32	4,82	1,21	4,18	1,90	4,27	1,50	
1,55	2,22	7,21	3,56	2,88	1,42	2,36	4,94	1,22	4,22	1,96	4,36	1,55	
1,60	2,23	7,37	3,61	3,03	1,41	2,40	5,06	1,23	4,27	2,02	4,46	1,60	
1,65	2,22	7,49	3,63	3,20	1,37	2,44	5,15	1,23	4,30	2,08	4,55	1,65	
1,70	2,22	7,60	3,64	3,37	1,33	2,47	5,23	1,23	4,33	2,13	4,63	1,70	
1,75	2,24	7,77	3,68	3,51	1,31	2,49	5,32	1,25	4,38	2,18	4,69	1,75	
1,80	2,27	7,94	3,73	3,66	1,30	2,51	5,41	1,26	4,44	2,23	4,75	1,80	
1,85	2,29	8,08	3,74	3,81	1,26	2,53	5,49	1,26	4,48	2,28	4,81	1,85	
1,90	2,31	8,23	3,75	3,95	1,23	2,54	5,57	1,26	4,51	2,33	4,86	1,90	
1,95	2,30	8,32	3,74	4,10	1,17	2,56	5,65	1,25	4,50	2,38	4,92	1,95	
2,00	2,28	8,40	3,72	4,24	1,12	2,58	5,72	1,24	4,48	2,43	4,98	2,00	

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell =$ menor valor entre ℓ_a e ℓ_b