

SISTEMAS PREDIAIS NÃO TRADICIONAIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS PLUVIAIS

Sistemas sifónicos ou em pressão

JOÃO PEDRO DIAS DE NUNES PEREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Carlos Alberto Baptista Medeiros

JUNHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A Catarina

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Professor Carlos Medeiros pelas orientações para a elaboração da dissertação. Agradece ainda ao Dr. José Seabra e ao Rui Costa da empresa Geberit na assistência prestada ao esclarecimento do funcionamento do sistema sifónico assim como toda a experiência transmitida no uso destes sistemas.

Deixa uma menção aos professores Vítor Abrantes, Rui Calejo, Nuno Ramos, Vasco Freitas, Hipólito Sousa, José Amorim Faria e Fernando Piqueiro por lhe terem inflamado a chama da paixão do bailado entre arte e ciência a que chamamos Engenharia.

Mostra um profundo agradecimento a Sílvia Ferreira, Sofia Cunha, Catarina Santos, Mariana Neves e Nuno Macedo, Ricardo Teixeira e João Macedo por lhe confiarem com a sua mais sincera amizade.

Finalmente agradece com a sua vida a quem lhe deu todo o sentido, Catarina Velasques.

RESUMO

A presente tese concerne a sistemas sifónicos ou em pressão de drenagem pluviais de edifícios.

Os objetivos são os de elucidar o seu funcionamento e procurar comparar a aplicação deste sistema face aos sistemas de drenagem tradicionais. Para tal fim, são analisados cada um dos sistemas e quais as características intrínsecas a cada um deles, dando-se especial detalhe ao sistema sifónico já que o conhecimento deste tipo de sistema é menos abrangente. Para ambos os sistemas são abordadas as suas conceções e os seus métodos de dimensionamento.

Explicados ambos os sistemas, procura-se determinar o campo de aplicabilidade de cada um deles através das potencialidades ou incapacidades dos mesmos, procurando fomentar a aplicação racional e ponderada destes.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem pluvial, Sistemas de drenagem tradicionais, Sistemas de drenagem sifónicos ou em pressão, Conceção de sistemas de águas pluviais, Dimensionamento de sistemas de drenagem prediais.

ABSTRACT

This thesis concerns the pluvial drainage by the siphonic drainage system solution. The aim is to inform about its' functioning and compare itself against the conventional drainage systems. In order to reach this objective both systems are explained and the singularities about each are detailed, giving special emphasis to the siphonic drainage system since there's less information about this system. For each of the systems the approach to their conceptions and the methods of dimensioning are discussed.

With both solutions explained, one tries to fit each to its applicability range given both its strong and weak points. By the end of this thesis the reader should be acquainted with the know-how behind each system in order to promote the usage of the best method for each situation.

KEYWORDS: Pluvial drainage, Conventional drainage systems, Siphonic drainage systems, Drainage systems conception, Drainage systems dimensioning.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xi
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO GERAL	3
2.1. DRENAGEM PREDIAL NO CONTEXTO DA ENGENHARIA CIVIL	3
2.2. HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM	5
3. SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	7
3.1. CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFÍCIOS	7
3.1.1. CALEIRAS E ALGEROZES	8
3.1.2. RALOS	8
3.1.3. RAMAIS DE DESCARGA	8
3.1.4. TUBOS DE QUEDA	8
3.1.5. COLUNAS DE VENTILAÇÃO	8
3.1.6. QUEDAS GUIADA	8
3.1.7. COLETORES PREDIAL	8
3.1.8. RAMAIS DE LIGAÇÃO	9
3.1.9. CAIXAS DE AREIA	9
3.2. REGULAMENTO PORTUGUÊS	10
3.2.1. GENERALIDADES SOBRE CONCEÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL	10
3.2.2. BASES PARA O DIMENSIONAMENTO	11
3.3. NORMA EUROPEIA	14
4. SISTEMAS TRADICIONAL – CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO	17
4.1. CALEIRAS E ALGEROZES	17
4.2. RAMAIS DE DESCARGA	21
4.3. RALOS	21
4.4. TUBOS DE QUEDA	22
4.5. COLETORES PREDIAIS	24

4.6. RAMAIS DE LIGAÇÃO	24
5. SISTEMA SIFÓNICO OU SOB PRESSÃO	25
5.1. INTRODUÇÃO AO SISTEMA	25
5.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	25
5.3. COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS SIFÓNICOS	30
5.3.1. RALOS.....	30
5.3.2. TUBAGENS.....	31
5.3.3. SISTEMAS DE FIXAÇÃO.....	33
5.4. MODO DE FUNCIONAMENTO	35
5.5. SINGULARIDADES DO SISTEMA SIFÓNICO	36
5.5.1. FLEXIBILIDADE DO TRAÇADO E POSSIBILIDADE DE PENDENTES NULAS	36
5.5.2. INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA EM OBRA	37
5.5.3. USO DE DIÂMETROS MAIS REDUZIDOS.....	37
5.5.4. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	39
5.5.5. INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA EM OBRA	39
5.6. CAMPO DE APLICAÇÃO	39
5.6.1. GENERALIDADES.....	39
5.6.2. SISTEMA SIFÓNICO VS. SISTEMA TRADICIONAL	40
5.7. CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SIFÓNICO	43
5.7.1. DISPOSIÇÃO DOS RALOS.....	45
5.7.2. MUDANÇAS DE DIÂMETRO	45
5.7.3. LIGAÇÃO DO SISTEMA EM PRESSÃO À REDE PÚBLICA	48
6. CONCLUSÕES	53
BIBLIOGRAFIA	55
A. Anexos	A1
A.1. CÁLCULO SIMPLIFICADO DE CALEIRAS/ALGEROZES CIRCULARES E QUADRO-RESUMO PARA DIMENSIONAMENTO	A1
A.2. TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS DE DESCARGA	A3
A.3. TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE RALOS	A4
A.4. EXPLICITAÇÃO DA FÓRMULA ADOTADA PELO REGULAMENTO PARA DIMENSIONAMENTO DE TUBOS DE QUEDA EM ORDEM AO DIÂMETRO	A5
A.5. TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE TUBOS DE QUEDA	A6

A.6.DEDUÇÃO DA DIFERENÇA NA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE TUBOS DE QUEDA CONSOANTE O TIPO DE LIGAÇÃO ÀS CALEIRAS E/OU ALGEROZES	A8
A.7.TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE COLETORES PREDIAIS	A9
A.8.TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS DE DESCARGA	A10
A.9.CORTES CONSTRUTIVOS DE APLICAÇÕES DO SISTEMA SIFÓNICO EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA	A11
A.10.DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS DO SISTEMA SIFÓNICO.....	A13

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 –Esquemática tipo do sistema de drenagem de uma cobertura inclinada	7
Fig.2 –Esquema de uma caixa de areia.....	9
Fig.3–Descarregador de superfície em caleira	17
Fig.4–Orifício de descarga em cobertura plana	18
Fig.5–Cálculo de seções retangulares	19
Fig.6–Cálculo de seções triangular isósceles	19
Fig.7–Cálculo de seções trapezoidais	20
Fig.8–Cálculo de seções circulares.....	20
Fig.9–Tubo de queda com transição em aresta viva	23
Fig.10–Tubo de queda com transição em aresta cônica	23
Fig.11–Exemplo de aplicação do princípio de Bernoulli	28
Fig.12–Efeito de Venturi na alteração da pressão	29
Fig.13–Sistema pluvia da Geberit	31
Fig.14–Estrutura de suporte do sistema	34
Fig.15–Braço de deflexão	35
Fig.16–Funcionamento normal do sistema sifônico (nenhuma solicitação no trop-plein)	36
Fig.17–Aplicação do sistema sifônico em cobertura plana	40
Fig.18–Aplicação do sistema sifônico em coberturas em shed	40
Fig.19–Variação qualitativa do custo de cada sistema em função da área.....	41
Fig.20–Planta de edifício que obriga a uma distribuição irregular das camadas de forma	43
Fig.21–Drenagem independente de coberturas a diferentes cotas	44
Fig.22–Problemas de redução do diâmetro pelo bordo superior	46
Fig.23–Problemas de redução do diâmetro pelo bordo inferior	46
Fig.24–Exemplo de transição de diâmetros em troços verticais e ligação aos troços horizontais	47
Fig.25–Problemas no incremento de diâmetros pelo bordo superior	47
Fig.26–Modo correto de incrementar o diâmetro em tubagens horizontais	48
Fig.27–Problemas associados ao aumento brusco do diâmetro pelo bordo inferior	48
Fig.28–Entrada em sistema gravítico antes do atravessamento da laje de fundação	50
Fig.29–Entrada em sistema gravítico depois do atravessamento da laje de pavimento	50
Fig.30–Entrada em sistema gravítico através de caixa de ligação no caso de tubagens com alinhamentos concordantes	51

Fig.31–Planta de entrada em sistema gravítico através de caixa de ligação com tubagens de alinhamentos não concordantes.....	51
Fig.32–Entrada em sistema gravítico através de caixa de controlo.....	52
Fig.33–Ligação direta ao meio recetor	52
Fig.A1–Funcionamento de caleiras/algerozes à capacidade máxima	A1
Fig.A2–Aplicação em cobertura de betão	A11
Fig.A3–Aplicação em cobertura metálica	A11
Fig.A4–Aplicação em cobertura metálica com isolamento térmico.....	A11
Fig.A5–Aplicação em cobertura em betão acessível a automóveis.....	A12
Fig.A6–Aplicação em cobertura acessível a pessoas.....	A12
Fig.A7–Proteção dos ralos para fraca densidade de vegetação	A13
Fig.A8–Proteção dos ralos para forte densidade de vegetação	A14
Fig.A9–Junta flangeada e elementos constituintes	A15
Fig.A10–Soldadura topo a topo.....	A15
Fig.A11–Verificação visual da electrossoldadura.....	A16
Fig.A12–União electro soldada	A16

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1–Valores das constantes de acordo com a região e o período de retorno	13
Tabela 2–Intensidade pluviométrica média máxima em mm/h numa chuvada com duração de 5 minutos.....	13
Tabela 3–Valores de K de Manning-Strickler para alguns materiais	18
Tabela 4–Valores da rugosidade para alguns materiais.....	27
Tabela 5–Alguns valores de coeficiente de perda localizada	28
Tabela 6–Comparativo de materiais	31
Tabela 7–Taxas de ocupação para tubos de queda com ligação em aresta viva.....	38
Tabela 8–Áreas afectas a cada ralo para um caudal de 12 l/s consoante o período de retorno e a região para uma duração de precipitação de 5 minutos.....	42
Tabela 9–Casos de aplicação do sistema sifónico	42
Tabela 10–Valores da velocidade em m/s para os caudais máximos regulamentares em ramais de ligação	49
Tabela A1–Caudal máximo regulamentar em l/s para caleiras e algerozes em PVC para diferentes diâmetros e inclinações.....	A2
Tabela A2–Capacidade máxima regulamentar em l/s para ramais de descarga em PVC para diferentes diâmetros e inclinações	A3
Tabela A3–Tabela para dimensionamento de ralos se ligados a ramais de descarga	A4
Tabela A4–Tabela para dimensionamento de ralos se ligados a tubos de queda	A4
Tabela A5–Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligações à caleira feita em aresta viva	A6
Tabela A6–Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligação à caleira em entrada cónica.....	A6
Tabela A7–Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligação a ramais de descarga.....	A7
Tabela A8–Capacidades máximas regulamentares em l/s de coletores prediais em PVC para diferentes diâmetros e inclinações.....	A9
Tabela A9–Capacidades máximas regulamentares em l/s para ramais de ligação em PVC para diferentes diâmetros e inclinações	A10

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

EN – European Norm

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC – Policloreto de Vinilo

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

[°C] – Grau Centígrado

[h] – Hora

[J] – Joule

[l] – Litros

[m] - Metros

[mm] – Milímetros

[N] - Newton

[Pa] – Pascal

[Kg] - Quilograma

[rad] – Radiano

[s] – Segundo

1

INTRODUÇÃO

A drenagem de águas pluviais é um assunto de relevo no âmbito da Engenharia Civil. De fato, grande parte das construções humanas está diretamente exposta aos elementos, em particular à pluviosidade. Este efeito sobre as construções precisa de ser controlado, nomeadamente promovendo o escoamento direcionado das águas pluviais. Um controlo inexistente ou inadequado pode trazer os mais diversos efeitos adversos. À escala urbana podem ocorrer cheias, causadoras de prejuízos e perturbadores do quotidiano. À escala predial poderão ocorrer infiltrações indesejadas, desgaste prematuro dos materiais ou alteração da segurança no uso.

Repare-se ainda, por outro lado, que o simples fato de implantar uma obra humana irá, em muitos casos, direta ou indiretamente interferir no ciclo hidrológico. A mais forte afetação verifica-se logo à partida na medida em que se está a alterar as condições de escoamento natural e de infiltração de águas pluviais no solo ora por virtude das construções no subsolo, ora pela impermeabilização da superfície.

Existem então dois objetivos fundamentais a cumprir através da drenagem de águas pluviais: a manutenção das melhores condições de utilização das construções humanas e simultaneamente a gestão das águas captadas no controlo dos efeitos sobre os ciclos hidrológico e de utilização da água.

Um dos campos mais importantes da drenagem é a drenagem predial, isto porque edificações é a tipologia mais representativa das construções humanas. Assim, será de todo o interesse procurar e desenvolver diferentes soluções para a abordagem a este problema. Na verdade, ultimamente têm surgido novas soluções, através da utilização de sistemas com princípios diferentes dos tradicionais mais amplamente usados. Dado que a sua introdução foi relativamente recente à escala da Engenharia, surge a necessidade de avaliar em que medida serão estes sistemas mais adequados e eficientes que os sistemas tradicionais.

A presente dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto trata precisamente do estudo de um sistema de drenagem de edifícios dito “não-tradicional”: a drenagem por sistema sifónico ou em pressão.

Com este estudo procura-se comparar este sistema com o sistema tradicional. Para isso, serão descritos os dois tipos de solução, os princípios em que cada um se baseia e como se processa o funcionamento de cada um. Embora cada problema de Engenharia se deva abordar caso a caso, percebendo como cada sistema opera, o objetivo final será o de procurar adequar cada um dos sistemas às situações em que as suas potencialidades se revelem mais vantajosas face ao outro, procurando-se identificar alguns indicadores que permitam ao projetista e/ou ao construtor melhor orientar o promotor na adoção de uma ou outra solução.

A tese está organizada por capítulos cujos objetivos são assim descritos:

- **Capítulo 1 – Introdução** – Esclarecer as motivações e os objetivos da tese, assim como explicar a sua organização;
- **Capítulo 2 – Enquadramento geral** – Envolver o leitor na matéria em estudo, descrevendo o seu aparecimento e evolução no contexto da engenharia civil;
- **Capítulo 3 – Sistemas de drenagem de águas pluviais** – Descrever na generalidade os sistemas de drenagem de águas pluviais em edifícios incluindo todos os seus componentes e funções assim como a legislação e normas aplicáveis;
- **Capítulo 4 – Sistema tradicional – Generalidades e dimensionamento** – Compreender o funcionamento do sistema tradicional e as suas características, assim como interpretar a sua conceção e o seu dimensionamento;
- **Capítulo 5 – Sistema sifónico ou sob pressão** – Explicar o modo de funcionamento do sistema sifónico ou sob pressão assim como descrever os seus componentes e principais diferenças relativamente ao sistema tradicional. Procurar avaliar e justificar as suas vantagens e limitações. Descrever o seu método de dimensionamento e as singularidades quanto à sua conceção;
- **Capítulo 6 – Conclusões** – Compilar e resumir as mais importantes considerações sobre os assuntos abordados.

2

ENQUADRAMENTO GERAL

2.1. DRENAGEM PREDIAL NO CONTEXTO DA ENGENHARIA CIVIL

A influência da água nas mais diversas obras de engenharia civil transmite-se numa necessidade de mitigar os seus efeitos. A drenagem é um âmbito de relevo no controlo destes efeitos. Os seus campos de aplicação são vastíssimos. Drenam-se solos para alterar o seu comportamento mecânico, estradas para promover segurança no seu uso, solos agrícolas para manutenção das condições de cultivo, terrenos para enxugar espaços relvados ou campos desportivos, drenam-se águas residuais por questões de saúde pública...

Excluindo-se os casos singulares de trabalhos de drenagem pontuais, nos aglomerados populacionais a drenagem é em geral um sistema integrado composta por duas componentes chave: a drenagem urbana e a drenagem predial. Enquanto a drenagem predial trata da drenagem de águas residuais ao nível dos próprios edifícios, a drenagem urbana trata, para além da drenagem de espaços públicos e vias de comunicação, da ligação aos sistemas de drenagem predial, funcionando como emissário dos efluentes por estes captados, quer diretamente (ligação física através de condutas) quer indiretamente (descarga efetuada em sarjetas ou valetas). A drenagem predial pode então ser vista como um subsistema da drenagem urbana.

As águas residuais podem ser classificadas quanto à sua origem:

Águas residuais domésticas/industriais - Produtos e efluentes resultantes da utilização programática dos edifícios. As águas residuais domésticas são provenientes das instalações sanitárias, cozinhas e lavandarias. Estas águas possuem um alto teor em matéria orgânica. As suas propriedades são aproximadamente constantes ao longo do tempo. As águas residuais industriais provêm da atividade de máquinas, dos compostos utilizados e dos subprodutos formados. A qualidade desta água é muito variável de acordo com a tipologia industrial e, mesmo dentro de uma determinada tipologia, podem ocorrer alterações sazonais significativas.

Águas residuais pluviais (ou simplesmente, águas pluviais) – Fazem parte desta categoria águas pluviométricas captadas pelos sistemas de drenagem pluvial do edifício, águas provenientes da rega de jardins, pátios, dos sistemas de drenagem dos solos, sistemas de AVAC, piscinas ou do esvaziamento de reservatórios. Comparativamente, estas apresentam menor concentração de poluentes, em especial de origem orgânica.[1]

Justifica-se a drenagem de águas pluviais pelo seu poder de controlo na humidade nos edifícios evitando a degradação de pinturas, madeiras ou aparecimento de bolores assim como para prevenir sobrecargas não previstas em coberturas. A drenagem acautela também fenómenos de

humidade ascensional e ao reduzir a água em contacto com a fachada, prolongando a vida útil dos rebocos e pinturas.

O destino final das águas residuais é o seu tratamento para posterior restituição nas condições naturais ou a sua reutilização. Ao passo que as águas pluviais dispensam um tipo de tratamento mais exigente, quase exclusivamente do tipo físico ou preliminar e primário, para restituição nos meios recetores, já as águas residuais domésticas e industriais necessitam de tratamento, pelo menos secundário ou biológico e muitas vezes terciário ou de desinfecção/esterilização, para o mesmo efeito. Este tratamento processa-se em ETAR cuja finalidade é acelerar os processos de depuração. O lançamento destes efluentes nos meios recetores é antecedido de uma análise de impacte nos mesmos.

O seu transporte é efetuado preferencialmente em regime de escoamento em superfície livre, mas também pode ser feito em pressão. Uma outra alternativa, mais arrojada e menos frequente, é o transporte sobre vácuo. Para este efeito é criada uma depressão na conduta, forçando ao deslocamento da massa líquida sobre esta. Os seus custos de manutenção são elevados quando comparados com o sistema gravítico tradicional. Requer ainda pessoal especializado para a sua exploração.[2]

Os sistemas de drenagem de águas residuais podem-se classificar consoante o modo como abordam os tipos de águas residuais:[3]

Sistemas unitários: se constituídas por uma única rede de coletores onde confluem águas dos dois tipos.

Sistemas separativos: se constituídos por duas redes de coletores distintas. Cada uma delas responsável pelo transporte de um tipo de águas residuais.

Sistemas mistos: se o sistema funcionar em parte do modo unitário, e noutra de modo separativo.

Sistemas parciais ou pseudo-separativos: se no sistema de drenagem de águas residuais se permitir pontualmente que se drene uma parte das águas pluviais. Estas ligações ocorrem por exemplo ao nível de pátios quando a ligação ao sistema de drenagem pluvial por gravidade se revela difícil ou inconveniente.

O sistema unitário revela-se mais simples e económico no que toca ao custos globais dos seus componentes propriamente ditos. Repare-se no entanto que ao permitir a admissão conjunta dos dois tipos de águas residuais por parte deste sistema se está a aumentar a solicitação às ETAR que quando atingem a sua capacidade máxima, despejam por origem de um descarregador os excedentes não tratados para os meios recetores. Por outro lado está-se ainda a contaminar as águas pluviais, que à priori dispensavam tratamento antes da sua restituição originando assim um enorme desperdício de recursos sem grandes vantagens.[4]

Os sistemas de drenagem pluviais alteram a velocidade de restituição destas águas aos meios recetores. Percebe-se facilmente que durante uma chuvada para uma dada bacia hidrográfica, fosse a água pluvial infiltrar-se no solo, o tempo de percurso (em sentido lato, o tempo que demoraria para essa porção de água ser restituída ao leito recetor) é em geral muito maior do que se percorrer um trajeto ao longo de um sistema de drenagem, já que aqui a velocidade de escoamento é muito superior e não permite que parte do caudal se possa infiltrar no solo. Isto transmite-se num aumento do caudal no meio recetor, podendo originar transbordamentos assim como uma maior erosão das margens e leitos das linhas de água e redução das áreas cultiváveis. Devem, para estes casos ser previstas bacias de retenção, com a finalidade de restituir caudais para o meio recetor compatíveis com as suas capacidades de escoamento.[5]

2.2.HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM PREDIAL

Para se ter uma ideia de como surge a drenagem pluvial é necessário recuar até aos primórdios da condução de água. Motivados por condições de insalubridade e de saúde pública, viram-se os antigos na necessidade de promover sistemas de abastecimento de água. Os desenvolvimentos ocorreram a ritmos muito diferentes, consoante as civilizações. As primeiras culturas a implementar estes sistemas foram a Egípcia, Romana, Grega e Índia. Caso geral, surge o abastecimento de água através de condutas feitas de materiais locais. A distribuição era proporcionada por reservatórios abastecidos por mão-de-obra escrava que transportava água desde rios próximos. No início, este tipo de abastecimento apenas se destinava às mais importantes edificações. Numa primeira fase não existiam sistemas de drenagem de águas residuais. Os resíduos eram acumulados em depósitos para posterior transporte. A evolução surgiu naturalmente no sentido de tirar partido da gravidade para conduzir os resíduos para locais de depósito, surgindo os primeiros sistemas de drenagem de águas residuais. Este tipo de condutas estava no entanto muito sujeito a entupimentos e a maus odores. Para tal surgem os primeiros sifões para evitar o refluxo de matéria e gases. É desta experiência em condução de águas residuais que se abre caminho para a drenagem de águas pluviais.[6]

Os primeiros vestígios arqueológicos de sistemas de drenagem remontam ao milénio terceiro A.C. Os sistemas de drenagem não eram, como hoje em dia, consideradas infraestruturas condicionantes para o ordenamento e desenvolvimento dos núcleos urbanos.[7] A inclusão destes sistemas foi motivada em especial para o escoamento de vias de comunicação. Houveram no entanto sistemas de drenagem motivados por índoles muito mais singulares e surpreendentes como se verificou na Babilónia em jardins plantados em terraços ou em coberturas, reveladores de um cuidado fascinante.

O princípio de funcionamento destes primeiros sistemas baseia-se no escoamento gravítico em superfície livre. Águas pluviais eram direcionadas através de pendentes para caleiras. Em casos excecionais se verificaram sistemas de sarjetas e sumidouro, em tudo semelhante aos que se utilizam hoje em dia. De fato, até aos dias de hoje o princípio de funcionamento permaneceu inalterado. Os materiais utilizados na conceção destes sistemas nas civilizações pioneiras era variável consoante as tecnologias, mas sobretudo, com os recursos naturais disponíveis. Na Mesopotâmia utilizavam-se tijolo e asfalto enquanto no império romano se utilizava pedra e terracota.

As águas pluviais tinham destinos diferentes consoante o tipo de rede. Se a rede fosse unitária eram conduzidas a rios ou, noutras situações, às imediações dos centros urbanos onde seriam naturalmente depuradas por precipitações frequentes.[8] No caso de redes com sistema separativo a água captada poderia ser aproveitada para utilização.

Avanços mais relevantes começaram a ser feitos no início do século XIX com a vulgarização do abastecimento domiciliário de águas sobre pressão. As tubagens passam a ser em betão e ferro fundido evitando as grandes construções em pedra ou tijolo, típicas até então. Este desenvolvimento obriga também à inclusão integrada de um sistema de drenagem de águas residuais e, em paralelo, de drenagem de águas pluviais. Começa a ser solução corrente também, a utilização de coletores enterrados. Surge ainda a ideia da introdução ventilação das condutas de drenagem de águas residuais nos edifícios, permitindo um escoamento mais eficaz. A ventilação é assegurada simplesmente por uma derivação das condutas, ligada à atmosfera, não destinada ao transporte, que assegura que o escoamento se processa em regime de escoamento em superfície livre, evitando entupimentos originários da entrada em pressão do sistema.

Os sistemas de abastecimento e drenagem começam então a assumir um carácter mais importante na conceção e desenvolvimento dos centros urbanos. Simultaneamente há outros parâmetros que motivam um cuidado na drenagem pluvial, nomeadamente o desgaste prematuro de materiais ou

infiltrações nos edifícios devidas a insuficiência de drenagem. Ainda, com o rápido crescimento das metrópoles começam a surgir problemas de cheias, causadores de prejuízos.

Em meados de 1840 começam a surgir nos países da Europa mais desenvolvidos, as primeiras regras relativas ao abastecimento e drenagem de água que viriam dar origem aos primeiros regulamentos. Uma das primeiras regras a ser ditada é relativa à velocidade mínima dos coletores, a ser controlada para um mesmo diâmetro, alterando a inclinação. Isto porque uma inclinação insuficiente origina deposição de filme sólido nas condutas, perturbando as suas condições de salubridade, prejudicando as condições de escoamento e aumentando os encargos com manutenção.

Até ao presente, foram pouco significativas as evoluções que se deram neste campo desde essa data para a compreensão deste trabalho.

3

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

3.1.CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFÍCIOS

A drenagem de águas residuais em edifícios processa-se de um modo muito análogo no que toca a órgãos e acessórios quer se trate da drenagem de águas pluviais ou residuais domésticas/industriais. A drenagem de águas pluviais (ou equiparadas) podem ocorrer a vários níveis tais como coberturas, varandas, jardins ou terraços.

Uma correta interpretação deste trabalho implica o conhecimento de quais as funções dos mais importantes componentes e acessórios destes sistemas e a sua articulação.

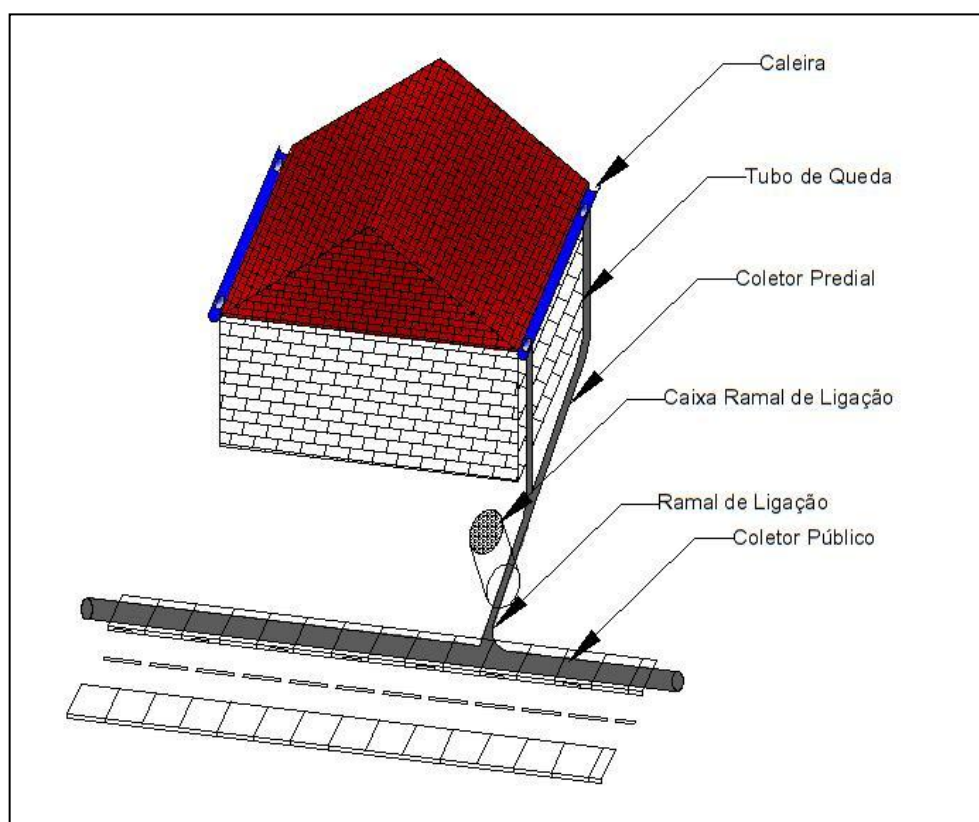


Fig. 1 – Esquemática tipo do sistema de drenagem de uma cobertura inclinada

3.1.1. CALEIRAS E ALGEROZES

São dispositivos de secção aberta nas coberturas (planas ou em águas) com a função de recolher as águas pluviais que os mesmos conduzem de acordo com o seu declive. Estes por sua vez fazem escoar as águas para ramais de descarga ou tubos de queda. Podem ser elementos singulares fixados ao edifício ou serem incorporados na própria forma das paredes. Distinguem-se algerozes de caleiras quer estes dispositivos estejam situados ou não no interior de platibandas ou similares. Podem ser materializadas, entre outros, por chapa zincada, betão, fibrocimento ou PVC rígido. Encontram-no mercado com as mais variadas formas e secções. Com frequência caem nas caleiras e algerozes matérias que os obstruem, motivando cuidados regulares de manutenção.

3.1.2. RALOS

Ralos são dispositivos que podem ser de ferro fundido, latão, materiais plásticos ou outros que, dotados de aberturas ou fendas permitem a entrada para o seu interior da água pluvial impedindo no entanto a passagem de matérias sólidas. Os ralos situam-se dentro da própria área a drenar. Estes ralos fazem passar a água até um ramal de descarga ou diretamente para um tubo de queda. As águas são direcionadas para os ralos através de pendentes ténues estabelecidas nas camadas de forma das coberturas.

São adequados para coberturas planas ou espaços de lavagem e rega. Os ralos devem ser limpos ocasionalmente para assegurar a sua eficiência.

3.1.3. RAMAIS DE DESCARGA

São elementos de geometria circular fechada que têm por objetivo guiar as águas recolhidas pelos ralos ou algerozes para o tubo de queda ou coletor predial. Estas ligações fazem-se através de forquilhas. A ligação ao coletor predial também pode ser feita através de caixa de ligação (também chamadas caixas de visita, reunião ou inspeção). Um ramal de descarga pode estar associado a vários ralos e a outros ramais de descarga. Ligam-se os ramais de descarga a outros ramais de descarga através de curvas de concordância ou caixas de ligação. Os ramais de descarga devem estar à vista, embutidos, em galerias, enterradas, em tetos falsos ou suspensos no teto.

3.1.4. TUBOS DE QUEDA

Captam águas provenientes de caleiras, algerozes ou ramais de descarga, conduzindo-os em troços verticais para o coletor predial ou despejando-as em sarjetas, valetas ou sumidouros. Têm normalmente geometria circular. A sua materialização é cada vez mais feita em PVC, embora existam soluções mais onerosas com cariz mais estético para satisfazer exigências arquitetónicas particulares.

3.1.5. COLUNAS DE VENTILAÇÃO

Utilizam-se para assegurar ventilação dos poços de bombagem quando estes existam. Deve ser constituído por um único alinhamento vertical reto com abertura direta para o exterior. Sempre que existirem poços de bombagem deve prever-se a instalação de desarenadores para evitar desgaste do equipamento eletromecânico.

3.1.6. QUEDAS GUIADA

É possível através das caixas de ligação ao qual confluem condutas horizontais a diferentes cotas a existência de uma queda guiada para transferir as águas da(s) cota(s) superior(es) para a inferior.

3.1.7. COLETORES PREDIAIS

Fazem confluir as águas coletadas pelos diversos tubos de queda (se estes não descarregarem em sarjetas, valetas ou sumidouros) e ramais de descarga destinando-as ao ramal de ligação. São de geometria circular fechada. Sempre que se pretenda que neste ocorra mudança de diâmetro, inclinação ou direção são adotadas curvas de transição ou forquilhas. Devem ser colocados à vista, em galerias, tetos falsos ou enterrados. No caso de serem enterrados, torna-se necessária a instalação de uma câmara de inspeção a cada 15 metros.

3.1.8. RAMAIS DE LIGAÇÃO

É responsável por recolher as águas do coletor predial e conduzi-las ao coletor público. É portanto o elemento final no percurso das águas drenadas no âmbito da drenagem predial. A ligação é feita ao coletor predial através da caixa ramal de ligação. Esta caixa, situada fora da propriedade predial permite a inspeção por parte das entidades gestoras sem ter que ter acesso ao interior das propriedades. A sua geometria é circular fechada e o seu traçado deve ser retilíneo tanto em planta como perfil. São permitidos mais do que um ramal de ligação para cada tipo de águas no caso de edifícios de grande extensão.

A ligação ao coletor público pode fazer-se dos vários modos:

- Em câmaras de visita ou diretamente nos coletores se os diâmetros do ramal de ligação e coletores for superior a 500mm, fazendo-se a um nível superior a dois terços da altura do coletor;
- Por meio de forquilhas, se o ângulo de incidência igual ou inferior a $67,30^\circ$ no sentido do escoamento;
- Ligação em “tê” se a altura da lâmina líquida do coletor se situe a um nível inferior ao da lâmina líquida do ramal.

3.1.9. CAIXAS DE AREIA

Dispositivos de descontinuidade no sistema com o objetivo de fazer sedimentar partículas sólidas transportadas para evitar danificar a rede pública.

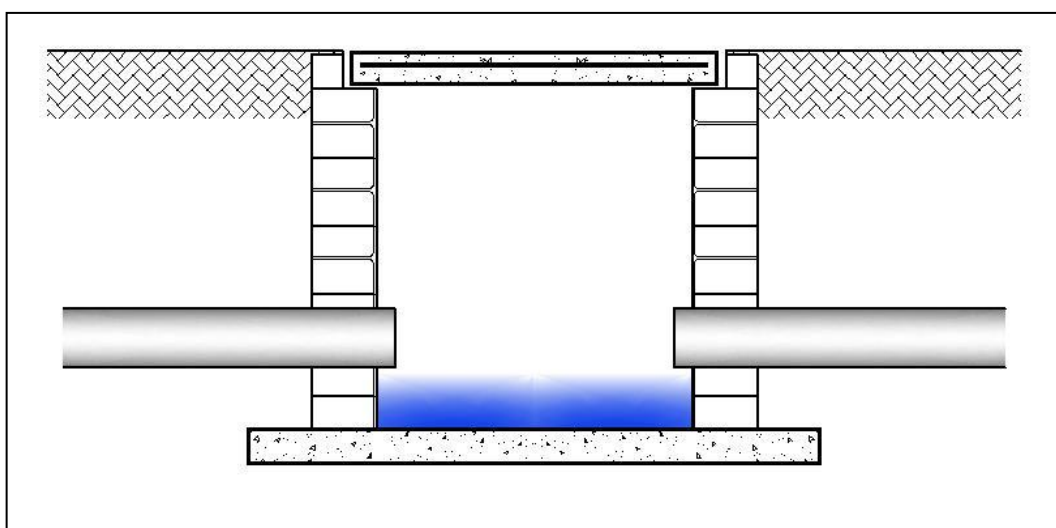


Fig. 2 - Esquema de uma caixa de areia[9] (Adaptado)

Os sistemas de drenagem devem ser estanques para maximizar a sua performance e evitar danos nos demais elementos do edifício. Devem ainda ser resistentes a esforços aos quais sejam passíveis de ser submetidos e de fácil manutenção.

Embora certos elementos possam ser de diferentes materiais, como mencionado nos pontos anteriores, o material mais correntemente usado para tubagens é o PVC em toda a extensão do sistema.

3.2.REGULAMENTO PORTUGUÊS

Atualmente em Portugal as redes de abastecimento e drenagem de águas residuais são preconizadas segundo o regulamento em vigor, o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, aprovado pelo Decreto Regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto, doravante referido simplesmente por Regulamento e que servirá para se proceder à caracterização dos designados sistemas tradicionais nele enunciados.

3.2.1. GENERALIDADES SOBRE CONCEÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL

No presente subcapítulo serão abordadas os aspetos gerais a tomar em conta ao abrigo do Regulamento para a conceção de sistemas de drenagem pluvial. Quando oportuno, serão referidos os artigos aos quais as indicações dizem respeito.

Embora o Regulamento proponha a adoção de um sistema integrado para os sistemas de drenagem pluvial, nem sempre poderá ser essa a opção mais viável. De fato, pela sua índole, esse tipo de sistema só se justifica para grandes aglomerados populacionais, revelando-se extremamente oneroso quando utilizado para satisfazer necessidades pontuais no espaço. Para os casos em que as soluções de engenharia correntes sejam economicamente desvantajosas, permite-se a adoção de sistemas simplificados de drenagem pública. (Artigo 114.º)

Exemplo de tais sistemas são as lagoas de amortecimento, também chamadas lagoas de retenção. São espaços para onde as águas pluviais são conduzidas e armazenadas temporariamente e se vão gradualmente infiltrando no solo envolvente. Têm a propriedade de remover eficazmente poluentes, tornando-as muito úteis para locais com grandes períodos de estiagem, em que as primeiras chuvas transportam grandes concentrações de poluentes.

Um outro exemplo de uma solução simplificada é a adoção de poços absorventes que são ligações diretas das águas pluviais diretamente ao solo para sua infiltração. Esta solução é muito prática para espaços urbanizados com boa capacidade de infiltração nos solos mais profundos pois requer uma camada superficial pouco permeável, tipicamente característica destes espaços.

Existem por lei lançamentos que são interditos nas redes de drenagem pública, isto é, certo tipo de efluentes como matérias explosivas ou radioativas, entulhos, areias ou cinzas que pela suas características não se deverão em caso algum entrar nos sistemas de drenagem residual. Tal acontece para minimizar flutuações nas qualidades das águas residuais uma vez que os meios recetores destes efluentes são preconizados para determinadas características expectáveis das mesmas. (Artigo 117.º)

Na conceção de novos sistemas de drenagem deverá procurar-se adotar o sistema separativo. Aquando da remodelação de sistemas unitários ou mistos dever-se-á equacionar a adoção do sistema separativo. A utilização deste sistema é preferível pelos motivos já expostos no capítulo segundo. (Artigo 119.º)

Por forma a permitir o fácil acesso aos coletores de águas residuais, proíbe-se em regra a construção de qualquer edificação sobre estes. Caso tal se revele impossível, dever-se-á assegurar a inalteração do seu bom funcionamento e estanqueidade. A acessibilidade aos órgãos integrantes dos sistemas de

drenagem tornam-se imperativa no sentido de promover uma mais fácil intervenção no caso de avaria. (Artigo 136.º)

Os sistemas de drenagem predial devem ser concebidos de tal forma que exista separação dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais a montante das câmaras de ramal de ligação. (Artigo 198.º)

Com isto pretende-se promover a instalação de infraestruturas que levem ao mais fácil desenvolvimento de sistemas separativos, ficando todos os sistemas aptos à priori para uma eventual modernização da rede pública. Por outro lado, evita a sifonagem de todos os órgãos do sistema de drenagem pluvial para prevenir maus odores no interior de espaços habitáveis ou utilizáveis, provenientes de condutas de tipo unitário.

As ligações entre o coletor predial e público só pode ser feito quando este último estiver a funcionar em regime de escoamento em superfície livre. No entanto, por motivos de entupimentos a jusante, avarias nos sistemas elevatórios ou simplesmente caudais inesperados, o coletor público pode entrar em carga, ou seja, ser submetido a um regime de escoamento em pressão. Nestes casos, pelos princípios da hidrostática, as águas não confinadas ascendem até a uma altura igual à pressão hidrostática instalada, medida em metros coluna de água. Por este motivo todas as águas captadas abaixo do nível do arruamento (mesmo que localizados acima do nível do coletor público) deverão ser elevadas até um nível igual ou superior ao do arruamento evitando inundações nos pisos subterrâneos ao aumentar a pressão necessária para chegar a este nível. As águas residuais recolhidas a um nível igual ou superior ao do arruamento devem ser escoadas diretamente para o coletor através da ação da gravidade (Artigo 205.º)

3.2.2. BASES PARA O DIMENSIONAMENTO

Sendo a função de um sistema de drenagem pluvial a condução de um determinado volume de águas, percebe-se facilmente que o dimensionamento deverá ser adequado a um determinado caudal. Este caudal dependerá portanto dos caudais individuais de cada origem, identificados anteriormente. Repare-se no entanto que a maior contribuição para este caudal para edifícios correntes é sem dúvida, a das águas pluviométricas. Além disso não faz muito sentido considerar que num dia de chuva se proceda à lavagem de carros por exemplo. Daí se aceita que se considere que este caudal de cálculo apenas dependa das águas pluviométricas.

As chuvas ocorrem quando uma massa de ar saturado atinge o ponto de orvalho, motivando a sua condensação. Formam-se então gotas de água, que pelo aumento da densidade devido à mudança de estado, caem por efeito da gravidade na superfície terrestre num fenómeno designado por precipitação.

A quantidade de chuva incidente num determinado espaço é medida através de udómetros, também designados por pluviómetros. São equipamentos simples em geral com forma cilíndrica com uma abertura no topo, expostos à ação na chuva no qual se registam progressivamente as alturas do volume de água. Estes registos são designados por registos udográficos. A área da base dos udómetros em nada influencia a altura de água, isto porque à escala das dimensões dos udómetros a pluviosidade se pode considerar invariável no espaço. A unidade de medida de precipitação é o milímetro.

À precipitação está associada uma grande incerteza. Os fatores de que depende são tão variados e de estudo tão complexo que mesmo na atualidade, com recurso a software e técnicas de cálculo avançados na área da meteorologia, é ainda difícil garantir a ocorrência de chuva numa determinada zona com antecedência que exceda alguns dias. Por outro lado, mesmo que se verifique a ocorrência de uma chuva prevista, não é possível avaliar com precisão a duração e intensidade destas precipitações antecipadamente.

Embora se possam verificar alguns padrões no que toca a precipitação (como por exemplo, maior precipitação na estação do Inverno e Primavera) não poderá esta constatação ser tomada como regra. A variabilidade da precipitação ao longo do tempo e do espaço tornam a sua avaliação determinística difícil. Mesmo em Portugal, um país com uma área comparativamente pequena, podem ocorrer num mesmo ano diferenças muito significativas na pluviosidade registada entre duas zonas distintas. Por outro lado, para uma mesma zona, a diferença na pluviosidade registada entre dois anos distintos (mesmo por vezes consecutivos) pode também ser muito acentuada.

É sabido que qualquer dimensionamento no âmbito da Engenharia Civil deve ser efetuado para o cenário mais pessimista, em que o sistema a dimensionar esteja mais solicitado. Um sistema de drenagens de águas pluviais estará à partida tanto mais solicitado quanto maior a intensidade pluviométrica. Contudo, há limitações técnico-económicas que não permitem dimensionar os sistemas para períodos de retorno relativamente largos (100 ou 200 anos).

Os sistemas de drenagem de águas pluviais são assim dimensionados para um determinado período de retorno. Dimensionar para um certo período de retorno significa dimensionar o sistema para operar no limite das suas capacidades a uma chuvada de intensidade que se probabilisticamente ocorrerá uma única vez durante o período considerado. Os períodos de retorno mais comuns são de 5 ou 10 anos. É possível reduzir no entanto para 1 ou 2 ou aumentar para 20 ou 25 anos consoante as bacias sejam planas, com uma percentagem elevada de espaços livres permeáveis, ou se por outro lado as bacias forem densamente edificadas e declivosas respetivamente. (Art. 130.º)

O senso-comum estabelece uma relação entre a duração e a intensidade das chuvas. Em geral, as chuvas de menor intensidade são mais duradouras, ao passo que as chuvas de grande intensidade são em geral de muito curta duração. Por este motivo, a duração a considerar deverá ser de 5 minutos por forma a agravar a solicitação ao sistema. (Art. 210.º)

Por todos os motivos enumerados, a avaliação da precipitação é feita com base num modelo estatístico.

Sempre que seja dispensável a análise estatística ou na falta de dados adequados poder-se-á recorrer às chamadas curvas intensidade/duração/frequência (Curvas IDF). Estas dividem o país em três regiões pluviométricas distintas e para cada uma delas fornecem, para um dado período de retorno e duração a intensidade média máxima de precipitação. Este modelo foi estabelecido através da análise de séries históricas de registos udográficos correspondentes a um elevado número de anos para as regiões consideradas.

Através deste método a precipitação média máxima para uma determinada região, período de retorno e duração é dado através da expressão:

$$I = at^b \quad (1)$$

I = Intensidade média máxima de precipitação em mm/h

a, b = constantes que dependem da região e do período de retorno

t = duração da precipitação em minutos

Tabela 1 - Valores das constantes de acordo com a região e o período de retorno

Regiões T (Anos)	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
2	202,72	-0,577	162,18	-0,577	243,26	-0,577
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,68	-0,549	232,54	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,508
100	365,62	-0,508	292,50	-0,504	438,74	-0,504

As regiões são compostas pelos conselhos descritos:

Região pluviométrica A — Inclui as áreas não referidas em B e C.

Região pluviométrica B — Inclui os concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada à Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais.

Região pluviométrica C — Inclui os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e do Continente, os concelhos de Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca, e as áreas situadas a altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil, Arouca Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.

Sendo 5 minutos duração recomendada a considerar pode-se criar a seguinte tabela com os valores para as diferentes zonas e vários períodos de retorno.

Tabela 2 - Intensidade pluviométrica média máxima em mm/h numa chuvada com duração de 5 minutos

T (Anos)	Região		
	A	B	C
2	80,09	64,07	96,11
5	104,93	83,95	125,92
10	120,14	96,11	144,17
20	133,67	106,93	160,40
50	150,40	120,32	185,18
100	161,42	129,97	194,95

Sabida a intensidade de precipitação o caudal pode ser calculado através da fórmula racional:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600} \quad (2)$$

$Q =$ Caudal em l/s

C = Coeficiente de escoamento

I = Intensidade média máxima de precipitação em mm/h

A = Área de contribuição para o escoamento em m^2

fórmula esta, amplamente utilizada no estudo de escoamentos em bacias hidrográficas.

O coeficiente de escoamento estabelece a relação entre a porção de água pluvial que de fato dá origem a escoamento (precipitação útil) e a precipitação efetiva. Isto porque por motivos de infiltrações ou outras captações, uma parte da água pluvial pode não contribuir para o escoamento. Os coeficientes de escoamento são valores obtidos indiretamente através da correlação com outros parâmetros mais facilmente mensuráveis. Para o caso da drenagem de águas pluviais, admite-se que os materiais das coberturas e telhados são completamente impermeáveis, sendo por isso o coeficiente de escoamento igual à unidade.

Com esta informação se inicia a abordagem à conceção dos sistemas de drenagem pluvial. Deve nesta fase ser pensada uma esquemática possível para a articulação do sistema, nomeadamente no que toca à localização de caleiras/algerozes ou ralos, a quantidade e localização de ramais de ligação e tubos de queda. Para um mesmo projeto de drenagem de águas pluviais podem haver inúmeras soluções, dificilmente comparáveis numa análise superficial pelo que a otimização do sistema deve ser feita por tentativa e erro. Seja como for, é recomendado que o dimensionamento seja feito no sentido do escoamento.

Como alternativa ao disposto no regulamento, surge atualmente a proposta para adoptar no dimensionamento das redes prediais de drenagem de águas pluviais a proposta que resulta da Norma Europeia EN 12056, doravante referida simplesmente por Norma, pelo que se fará no ponto seguinte uma sucinta abordagem dos seus princípios.

3.3. NORMA EUROPEIA

A Norma Europeia EN 12056 diz respeito a exigências aplicáveis a sistemas de drenagem predial sendo a sua terceira parte (EN 12056-3), relativa ao traçado e dimensionamento de redes de drenagem de águas pluviais e serve de uma nova proposta à conceção e dimensionamento das mesmas.

A Norma propõe uma abordagem semelhante ao Regulamento, porém com algumas singularidades. As diferenças mais significantes recaem nos seguintes pontos:

- São distinguidas caleiras de beirado de caleiras interiores, quer se tratem de caleiras no sentido lato ou algerozes, respetivamente. Consoante o tipo de caleiras são propostos diferentes metodologias de cálculo, ambas tendo em conta fatores de segurança e valores de capacidade de transporte. Os valores da capacidade de transporte são obtidos ou à custa de ensaios experimentais ou à custa de coeficientes dados de acordo com o comprimento da caleira, a forma, inclinação e a existência ou não de pontos angulosos.
- Na Norma são consideradas caleiras denominadas “de nível” com inclinações compreendidas entre 0 e 0,3%. Ao passo que no Regulamento considera-se a caleira como um canal, na Norma este é visto como uma forma de armazenamento temporário com propriedades de descarregador em que a sua capacidade de vazão está relacionada com a geometria de saída da caleira.
- Quando ao dimensionamento de tubos de queda, ao passo que na Norma o caudal por cada tubo de queda é calculado de acordo com a taxa de ocupação como sendo 1/5 ou 1/3, no Regulamento é fornecida uma fórmula empírica fornecendo valores do caudal para o qual as taxas de ocupação se verificam ser variáveis.

- Na Norma são deixadas algumas recomendações que não são muito explícitas no Regulamento. A saber:
 - O diâmetro das tubagens não deve ser reduzido no sentido do escoamento (excetuando-se o caso de sistemas sifónicos) sendo que os aumentos de diâmetro devem assegurar a continuidade do intradorso, de forma a assegurar a continuidade da veia líquida.
 - No caso de as tubagens atravessarem paredes devem-se usar dispositivos passa-muros.
 - As tubagens interiores devem estar preparadas para resistir a eventuais pressões de água no caso de entupimento.
 - Se a tubagem descarregar para uma cobertura inferior, a cobertura deverá ser reforçada na zona de descarga.
 - Para se fazerem descarregar águas pluviais para um sumidouro, dever-se-á efetuar a ligação através de uma entrada lateral abaixo da grelha do sumidouro ainda que acima do fecho hídrico do mesmo.
- De considerar como relevante para a economia do presente estudo é a circunstância de na Norma Europeia se fazer menção e apresentar-se uma breve descrição dos sistemas sobre pressão, ao passo que no Regulamento, nada é referido sobre esta possibilidade.

4

SISTEMA TRADICIONAL – CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO

No presente capítulo apresentam-se para cada componente constituinte do sistema tradicional as regras aplicáveis quanto à conceção e ao modo de dimensionamento segundo o Regulamento.

4.1 CALEIRAS E ALGEROZES

No dimensionamento hidráulico de algerozes e caleiras a altura da lâmina líquida não deve exceder 70% da altura da secção transversal. A inclinação deve estar compreendida entre 0,2% e 1,5%, sendo recomendado situar-se entre 0,5% e 1%.

As caleiras deverão ser dotadas de um descarregador de superfície tal como ilustrado na figura seguinte para que, caso se exceda a sua capacidade de transporte, as águas excedentes sejam descarregadas para o lado de fora do edifício. A folga deverá ser igual ou superior a 30% da altura da secção transversal, sendo a folga mínima de 3cm.

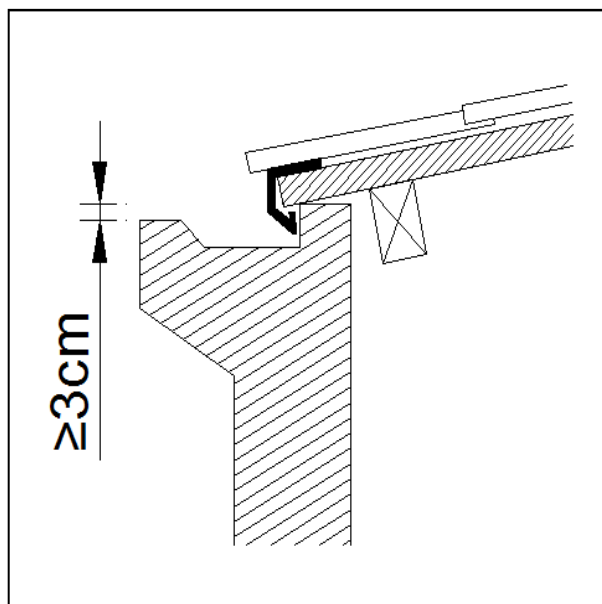


Fig. 3 - Descarregador de superfície em caleira

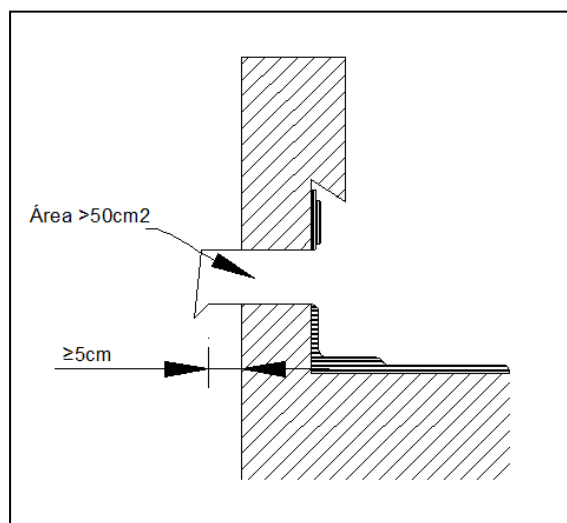


Fig. 4 - Orifício de descarga em cobertura plana

Em coberturas planas a descarga de águas excedentes deverá ser feita por um orifício de descarga com área igual ou superior a 50 cm^2 e cuja extremidade se deve situar a uma distância igual ou superior a 5 cm da fachada. [10]

O caudal de cálculo é obtido pela fórmula atrás descrita, sendo que a área a considerar é a área da cobertura em projeção horizontal que contribui para o escoamento para cada caleira/algeroz, considerando-se por isso nulo o efeito do vento na pluviosidade. O dimensionamento destes dispositivos é feito de acordo com a fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K_M \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad (3)$$

$Q =$ Caudal em m^3/s

$K_M =$ Rugosidade do material de Manning da conduta em $\text{m}^{\frac{1}{3}}/\text{s}$

$S =$ Secção transversal em m^2

$R =$ Raio hidráulico em m

$i =$ Inclinação em m/m

O parâmetro K_M tem em linha de conta a afetação da rugosidade do material. Este valor ao contrário do que possa ser dado a entender é tanto maior quanto menor for a rugosidade do material, e portanto, menor a resistência ao escoamento. A seguinte tabela apresenta valores propostos para alguns materiais correntes. É de salientar que estes coeficientes têm tendência a serem alterados com o desgaste das condutas.

Tabela 3 - Valores de K de Manning-Strickler para diferentes materiais [10]

Constituição das tubagens	Valor de K_M
Pvc	120
Cimento liso, chapa metálica sem soldaduras, fibrocimento	90 a 100
Cimento afagado, aço com proteção betuminosa	85
Reboco, grés, ferro fundido novo	80
Betão, ferro fundido com algum uso	75
Ferro fundido usado	70

O raio hidráulico é dado pelo quociente entre a área da secção transversal do fluido pelo perímetro molhado (λ). Define-se perímetro molhado como sendo o comprimento da linha imaginária que separa o fluido das paredes da conduta.

Nas figuras seguintes mostram-se as expressões gerais da secção, perímetro molhado e raio hidráulico para as formas das condutas mais frequentes. Nas mesmas, z é o inverso do declive.

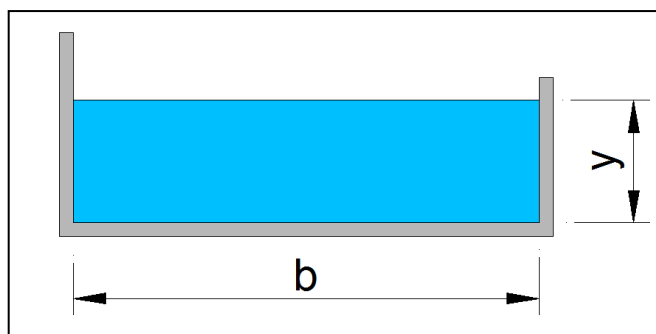


Fig. 5- Cálculo de secções rectangulares

$$S = by \quad (4)$$

$$\lambda = b + 2y \quad (5)$$

$$R = \frac{by}{b+2y} \quad (6)$$

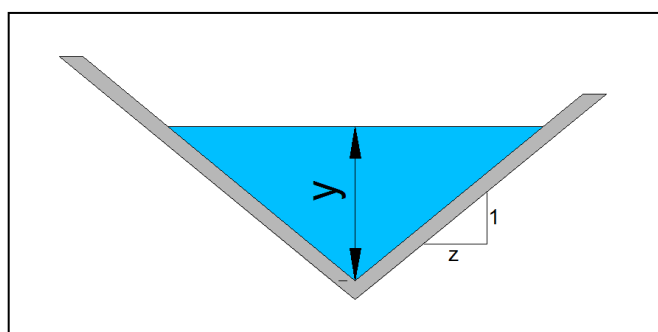


Fig. 6 - Cálculo de secções triangulares isósceles

$$S = zy^2 \quad (7)$$

$$\lambda = 2y \times \sqrt{1+z^2} \quad (8)$$

$$R = \frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}} \quad (9)$$

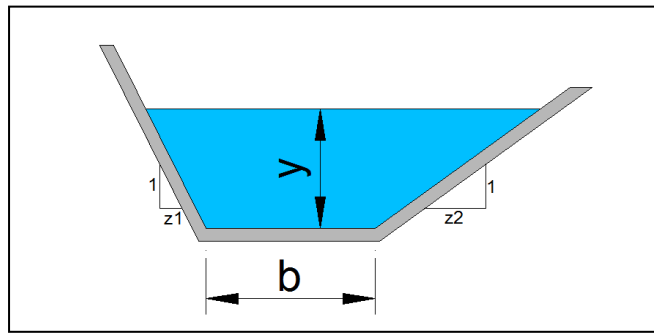


Fig. 7 - Cálculo de secções trapezoidais

$$S = \frac{y}{2}(2b + y(z_1 + z_2)) \quad (10)$$

$$\lambda = b + y\left(\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2}\right) \quad (11)$$

$$R = \frac{\frac{y}{2}(2b + y(z_1 + z_2))}{b + y\left(\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2}\right)} \quad (12)$$

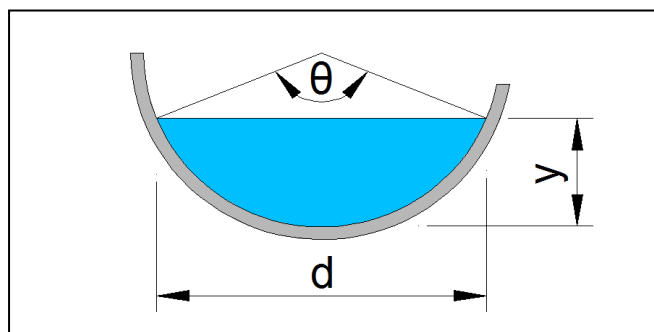


Fig. 8 - Cálculo de secções circulares

$$S = \frac{(\theta - \sin \theta)d^2}{8} \quad (13)$$

$$\lambda = d\theta/2 \quad (14)$$

$$R = \frac{(\theta - \sin \theta)d}{4\theta} \quad (15)$$

Existem 2 variáveis que entram neste problema: a inclinação e a forma (que condiciona os valores da secção e do raio hidráulico). Existem portanto duas formas de determinar a solução ao problema:

- Dado o caudal, escolhe-se a geometria da secção e admite-se que esta está no nível de desempenho máximo (lâmina líquida a 70% da altura da secção transversal) e determina-se a inclinação mínima a adotar. Caso a inclinação caia fora dos limites dever-se-á optar por uma geometria maior ou menor quer a inclinação seja maior ou menor que os limites, respetivamente.

- Dado o caudal, escolhe-se uma inclinação e por processos iterativos, tendo as geometrias comerciais disponíveis, determina-se uma geometria compatível. No caso das secções mais simples como as rectangulares, triangulares ou trapezoidais, é possível explicitar

matematicamente a fórmula em ordem a uma única incógnita, fixando alguns dos parâmetros ou reescrevendo-os à custa de parâmetros conhecidos. O mesmo poderá ser feito facilmente para secções circulares se se tiver em atenção que o ângulo θ para a altura de desempenho máximo toma o valor de 2,53 rad. A demonstração deste valor encontra-se no Anexo 1 onde também se encontra uma tabela para dimensionamento de caleiras e algerozes.

Uma outra de resolver o problema pode ser em arbitrar previamente a inclinação e a geometria das caleiras/algerozes e determinar a área afeta a cada um deles. Esta via de resolução pode contudo obrigar a sucessivas alterações ao projeto, nomeadamente no que toca à quantidade e localização dos tubos de queda. Arquitetonicamente esta resolução, embora possível, não se revela a mais adequada.

Existem, através da combinação das diversas geometrias e inclinações, as mais variadíssimas respostas a este problema. A escolha de uma melhor solução face a outra recai no equilíbrio entre o custo (secções maiores são em geral mais onerosas) com a estética (grandes inclinações podem causar um efeito estético desagradável). À partida, deverá ser a sensibilidade e a experiência, aliados às exigências mais específicas a ditar a solução a adotar.

4.2. RAMAIS DE DESCARGA

Os ramais de descarga são constituídos por um troço vertical que não pode exceder 2 metros que faz a ligação aos ralos, seguido de um troço reto aproximadamente horizontal.

O diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga de águas pluviais é de 40mm, exceto se neste estiverem aplicados ralos de pinha, situação em que o diâmetro nominal mínimo é de 50mm. A secção do ramal de descarga não pode diminuir no sentido do escoamento. A inclinação mínima a dotar aos ramais de descarga é de 0,5%.

Os ramais de descarga pluviais podem ser dimensionados para secção cheia. O seu dimensionamento pode ser feito com a equação de Manning-Strickler adotando $\theta = 2\pi$ nas fórmulas da Figura 7, permitindo reescrever a equação como:

$$Q = K_M \times \frac{\pi D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad (16)$$

Fixando por exemplo $K_M = 120m^{\frac{1}{3}}/s$ para ramais de descarga em PVC, podem-se construir tabelas que relacionam a máxima capacidade de vazão consoante o diâmetro e a inclinação, tal como representado no Anexo 2, permitindo um cálculo expedito.

Este tipo de tabelas pode ser feito para vários materiais, diâmetros e gamas de inclinação. Repare-se contudo que no quadro apresentado os incrementos de inclinação são de 5 mm/m, um valor já de si muito próximo do erro de construção.

4.3 RALOS

O dimensionamento de ralos é feito em função do ramal de descarga. Regulamentarmente os ralos de coberturas planas deverão ter uma área útil não inferior a dois terços da área do ramal de descarga ao qual estão ligados. No caso de ralos instalados no topo de tubos de queda estes deverão ter uma área útil 1,5 vezes superior à área do tubo de queda. Define-se área útil de um ralo como sendo o somatório das áreas pelas quais é possível haver admissão de água. Por este motivo, a inclusão de ralos implica que primeiro se dimensionem os órgãos aos quais estão ligados. A área útil dos ralos pode então ser determinada. No Anexo 3 encontra-se uma tabela que fornece esta área útil em função da dimensão e do tipo de órgão ligado.

4.4. TUBOS DE QUEDA

Deverá ser constituído sempre que possível por um único troço reto vertical. Na sua impossibilidade, deverão ser adotadas curvas de concordância (de raio tão grande quanto possível para minimizar os efeitos sobre o sistema) e o valor da translação deverá ser inferior a 10 vezes o diâmetro do tubo de queda. O seu diâmetro deve ser constante ao longo do seu desenvolvimento. Deve ser instalados à vista na face exterior dos edifícios ou em galerias verticais visitáveis. Devem ser evitados os embutimentos com o propósito de não dificultar uma eventual reparação necessária.

O diâmetro dos tubos de queda deverá ser no mínimo de 50mm e deverá ser maior do que o diâmetro de todos os ramais a estes ligados.

Para o seu dimensionamento o Regulamento propõe a seguinte fórmula:

$$Q = \left(\alpha + \beta \frac{H}{D} \right) \pi D H \sqrt{2gH} \quad (17)$$

em que:

$$Q = \text{Caudal de cálculo em } \frac{m^3}{s}$$

$$H = \text{Carga no tubo de queda em } m$$

$$D = \text{Diâmetro do tubo de queda em } m$$

$$g = \text{Aceleração da gravidade em } \frac{m}{s^2}$$

$$\alpha = \begin{cases} 0,453 & - \text{ se entrada de caudal no tubo de queda com aresta viva} \\ 0,578 & - \text{ se entrada cónica no tubo de queda} \end{cases}$$

$$b = 0,350$$

O caudal de cálculo de cada tubo de queda será o somatório de todos os caudais de cálculo de caleiras, algerozes e ramais de descarga que para este descarregam.

A carga no tubo de queda é igual à altura de água na secção transversal das caleiras e algerozes. Sendo estes dimensionados para a altura da lâmina líquida máxima admissível, a carga no tubo de queda deverá ser igual a 0,7 vezes a sua altura. Para outras situações, a altura poderá ser determinada com recurso à equação de Manning-Strickler. O valor corrente para a aceleração da gravidade à escala da geografia nacional é tomado como sendo 9,81m/s².

Os diferentes valores de α são afectados pela suavidade da transição entre o escoamento das caleiras e algerozes para os tubos de queda.

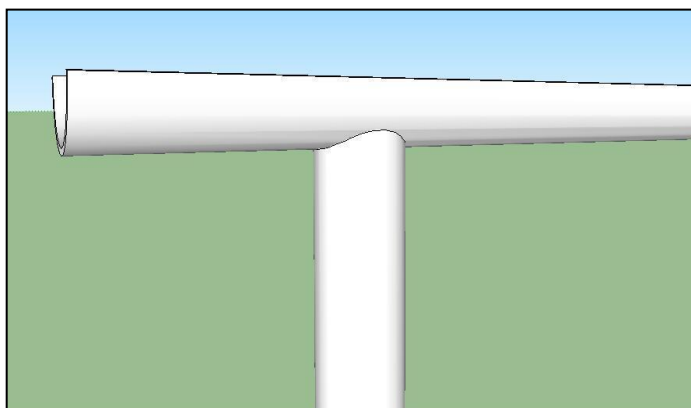


Fig. 9 - Tubo de queda com transição em aresta viva

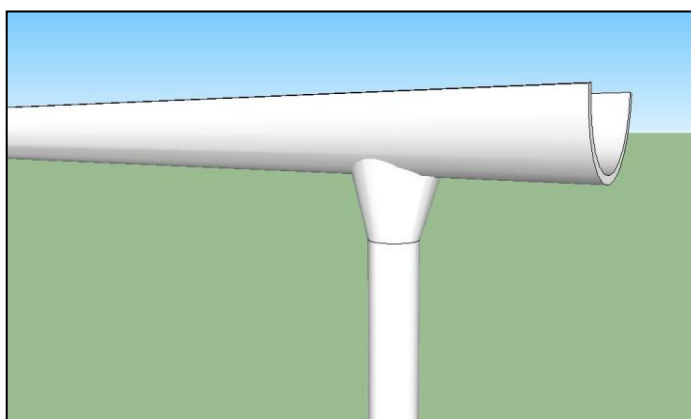


Fig. 10 - Tubo de queda com transição em aresta cônica

Repare-se que pela fórmula imposta pelo Regulamento não se obtém diretamente o diâmetro a adotar para os tubos de queda obrigando a um processo iterativo. Uma resolução alternativa passa por explicitar a fórmula em ordem ao diâmetro, obtendo-se a expressão seguinte, cuja dedução se encontra no Anexo 4.

$$D = \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta H}{\alpha} \quad (18)$$

Outra metodologia é o de criar uma tabela que relacione os diâmetros mais usuais com a sua capacidade máxima de transporte. Para um dimensionamento efetuado de acordo com as limitações regulamentares pode-se tomar o valor de H como sendo 70% do raio, ou seja 35% do diâmetro, obtendo-se os resultados sumariados Anexo 5.

Note-se que a expressão traduz uma diferença considerável (cerca de 22%) na capacidade de transporte quer a transição se dê em aresta viva ou com entrada cônica. Tal traduz uma influência relativamente grande num aspeto que à primeira vista pode não parecer muito significativo. O valor da diferença observável na tabela anterior encontra-se também deduzido no Anexo 6.

Além disso verifica-se que a taxa de incremento do caudal é muito superior à taxa de aumento do diâmetro. Por exemplo, ao dobrar o diâmetro de 100 para 200mm o caudal para entrada em aresta viva aumenta em 466%. Isto contraria a ideia de que por exemplo um tubo de queda com o dobro do

diâmetro transporta o dobro do caudal. De fato, com o aumento do diâmetro a área aumenta na sua razão quadrada e o raio hidráulico aumenta, diminuindo a área de contacto com as paredes da conduta (logo, o atrito) por unidade de área transversal.

4.5. COLETORES PREDIAIS

Deve ser constituído por troços retilíneos horizontais. O diâmetro mínimo aplicável a coletores prediais é de 100 *mm* ou à maior dos diâmetros das canalizações a este ligadas. As inclinações devem-se situar entre os 0,5% e os 4%. O dimensionamento dos coletores prediais é feito para regimes em secção cheia. À semelhança da tabela exemplificada para o cálculo de ramais de descarga, o mesmo poderá ser adequado para coletores prediais. Uma tabela deste tipo encontra-se no Anexo 7.

4.6. RAMAIS DE LIGAÇÃO

O diâmetro mínimo dos ramais de ligação é de 125 *mm*. O seu dimensionamento é feito para secção cheia pelo que o seu dimensionamento é feito de uma forma análoga ao dos colectores prediais. As inclinações aconselhadas estão compreendidas entre 2% e 4%, nunca podendo ser inferiores a 1%. Devem ser previstos dispositivos especiais de ancoragem para casos em que a inclinação dos ramais de ligação seja superior a 15%. Para um dimensionamento mais expedito podem-se sintetizar em tabelas os valores de vazão máxima para diferentes diâmetros e inclinações tal como exemplificado no Anexo 8.

5

SISTEMA SIFÓNICO OU SOB PRESSÃO

5.1. INTRODUÇÃO AO SISTEMA

O sistema sifónico começou a ganhar relevo nos anos 80 nos países nórdicos, onde aliás, o sistema foi desenvolvido.[11] Foi só em 1996 que surgiram em Portugal as construções mais significativas com recurso a este sistema.[12]

O sistema tradicional embora dimensionado para secção cheia não opera sobre pressão, na verdade, opera num regime no limiar entre o escoamento superficial confinado e o escoamento em pressão tal que a linha piezométrica é paralela à conduta, ou seja num escoamento confinado a pressão nula.

O sistema tradicional não poderá em nenhum caso funcionar sobre pressão, aliás, estabelecer este regime é impossível. Ao nível dos tubos de queda, o escoamento dá-se na forma anelar, isto é, o fluido adere às paredes dos tubos de queda. Existe então um vazio no centro da conduta em que existe circulação de ar. Mesmo que a carga seja tal que motive a expulsão deste ar e o escoamento se dê em secção cheia, a entrada em carga do regime tornar-se-ia inviável pela formação de vórtices. Estes vórtices são consequência da velocidade angular que a massa líquida contenha. A velocidade angular da massa líquida resulta de mudanças de direção horizontais ou verticais, da própria turbulência do escoamento ou do próprio efeito de rotação do planeta em torno do seu eixo (uma ação designada por efeito de Coriolis). A criação destes vórtices impede o estabelecimento duma massa líquida contínua pela introdução de ar no sistema inviabilizando o efeito da pressão.[13]

Esta impossibilidade do regime entrar em pressão é na realidade vantajosa. De fato, os sistemas tradicionais são feitos com recurso a materiais e acessórios que embora económicos não estão aptos para operar neste regime já que as ações sobre o sistema são mais gravosas. Além disso as ligações e juntas do sistema tradicional, por serem submetidas a ações menos intensas, também não podem ser transpostas indiscriminadamente para o uso no sistema sobre pressão.

Os sistemas em pressão diferem então em duas vertentes principais: na inclusão de ralos anti-vortex que, como o próprio nome indica, impedem a formação de vórtices, permitindo o escoamento em pressão e por outro lado, no uso de materiais e acessórios com comportamentos adequados às solicitações do funcionamento sobre pressão.

5.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento deste sistema assenta no Princípio de Bernoulli aplicado ao escoamento de fluidos com viscosidade e atrito. Este princípio pode ser escrito na forma de uma equação que na realidade traduz um equilíbrio de energia entre quaisquer dois pontos de um escoamento, 1 e 2 sendo 1 sempre relativo ao ponto a montante.

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \text{Perdas de carga} \quad (19)$$

em que,

Z_i = Cota do ponto i em m

p_i = Pressão relativa do ponto i em Pa

γ = Peso volúmico do fluído em N/m^3 ($\gamma_{\text{água}} = 9810 N/m^3$)

v_1 = Velocidade na secção i em m/s

g = Aceleração da gravidade em m/s^2

ΔH = Perda de carga contínua (ou de energia) entre a secção 1 e 2 em m

ΔH_l = Perdas de carga localizadas em m

Entenda-se o significado físico das parcelas por unidade de peso:

Z = Cota topográfica. Representa o potencial gravítico das partículas.

$\frac{p}{\gamma}$ = Altura piezométrica. Representa a energia de pressão.

$\frac{v^2}{2g}$ = Altura cinética. Representa a energia cinética.

A perda de carga decompõe-se em duas componentes, a perda de carga contínua ΔH_c (devidas ao atrito entre o fluído e as paredes da tubagem) e o somatório das perdas de carga localizadas ΔH_l (perdas de energia associadas a mudanças de diâmetro na tubagem, direcção ou singularidades como válvulas e juntas).

$$\Delta H = \Delta H_c + \sum \Delta H_l \quad (20)$$

A perda de carga contínua pode ser calculada através de:

$$\Delta H_c = JL \quad (21)$$

Sendo,

J = Fator de perda de carga em m/m

L = Comprimento da conduta em m

Em que,

$$J = \frac{8\lambda}{(g\pi^2 D^5)} Q^2 \quad (22)$$

Ou,

$$J = \lambda \frac{v^2}{2gD} \quad (23)$$

Com o diâmetro D em m , caudal Q em m^3/s e a velocidade v em m/s .

λ é um fator de atrito que pode ser calculado com recurso à expressão:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -10 \log_{10} \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (24)$$

representando,

$k =$ Rugosidade equivalente da conduta em m

$R_e =$ Número de Reynolds (adimensional)

O quadro seguinte apresenta alguns valores da rugosidade para os materiais mais usados.

Tabela 4 - Valores da rugosidade K para alguns materiais

Material	Rugosidade K (mm)
PEAD	0,04
PVC	0,04
Ferro Fundido	0,25
Fibrocimento	0,0125
Aço	0,05 a 0,3

O número de Reynolds é, por sua vez obtido à custa da expressão:[14]

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (25)$$

no qual,

$\rho =$ Massa específica do fluido em kg/m³ ($\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

$v =$ Velocidade média em m/s

$D =$ Diâmetro em m

$\mu =$ Coeficiente de viscosidade dinâmica do fluido em Ns/m²

O coeficiente de viscosidade dinâmica da água é afetado pela sua temperatura. A sua viscosidade é dada em função da temperatura T em graus Celcius por:

$$\mu = 2,414 * 10^{-5} + \frac{247,8}{T-133,15} \quad (26)$$

A viscosidade à temperatura de 20° é $1,001 * 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

As perdas de carga localizadas ΔH_l são função do coeficiente de perda localizada k_l , um valor adimensional obtido experimentalmente que varia com o tipo de singularidade.

$$\Delta H_l = \frac{k_l v^2}{2g} \quad (27)$$

A título de exemplo apresentam-se alguns valores de k_l . Estes valores são meramente elucidativos, já que flutuações podem ocorrer em função do uso dos materiais, da conceção, da forma ou das condições de escoamento.

Tabela 5 - Alguns valores do coeficiente de perda localizada [15]

Acessório	Valor de KI
Válvula de globo totalmente aberta	10
Válvula de cunha ou adufa	
Totalmente aberta	0,2
Aberta a três quartos	1,15
Meia Aberta	5,6
Aberta a um quarto	24
Joelho de 90° roscado	0,9
Joelho de 45° roscado	0,4
Saída lateral de um Tê	1,8

Para perceber as diferenças de escoamento no regime gravítico e em pressão, aplique-se o Princípio de Bernoulli ao caso ilustrado na figura seguinte entre o topo do reservatório e o ponto de descarga, desprezando as perdas de carga.

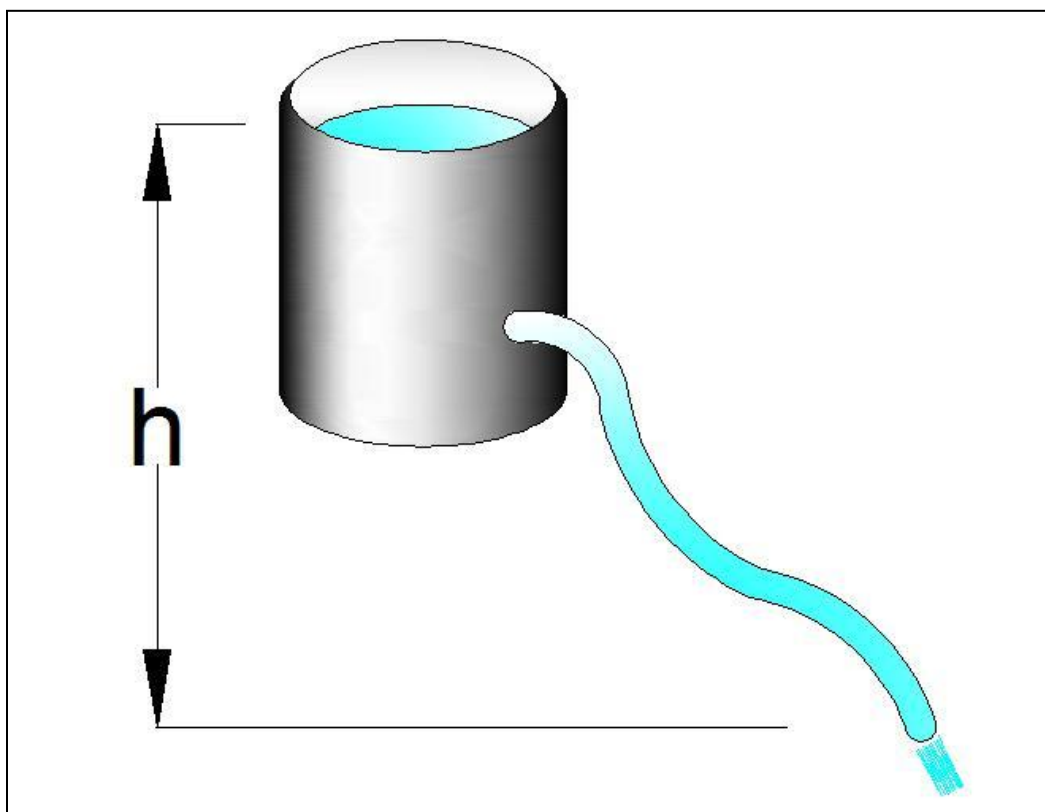


Fig. 11 - Exemplo para aplicação do Princípio de Bernoulli

Repare-se que no topo do reservatório tanto a pressão relativa como a velocidade são nulas. No ponto de descarga também a pressão relativa é nula por estar em contacto directo com a atmosfera. Assim:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \Leftrightarrow Z_1 - Z_2 = \frac{v_2^2}{2g} \Leftrightarrow h = \frac{v_2^2}{2g} \Leftrightarrow v_2 = \sqrt{2gh} \quad (28)$$

chega-se a um valor teórico aproximado da velocidade de escoamento. Tal não acontece no entanto no escoamento gravítico. Ao nível dos tubos de queda, pelo escoamento se dar de forma anelar, a massa líquida ao aderir às bordas do tubo, acelera até uma velocidade terminal, função da rugosidade da conduta e da viscosidade do fluido. Verifica-se experimentalmente que esta velocidade é cercada 13m/s e atinge-se ao fim de 35 metros de extensão. Isto porque a ação da gravidade é a única força em jogo.[12]

No caso dos escoamentos em pressão esta velocidade terminal não existe pois para além da ação da gravidade há o efeito das variações de pressões. A variação de pressão é a verdadeira ação motriz para o funcionamento deste sistema.

Para além da diferença de cotas entre os pontos iniciais e finais do escoamento, outro fator que altera o diferencial de pressões é explicado pelo efeito de Venturi.

Admita-se um tubo no qual há um escoamento em pressão e ao longo do qual existe, por exemplo, uma redução no diâmetro, tal como ilustrado na figura.

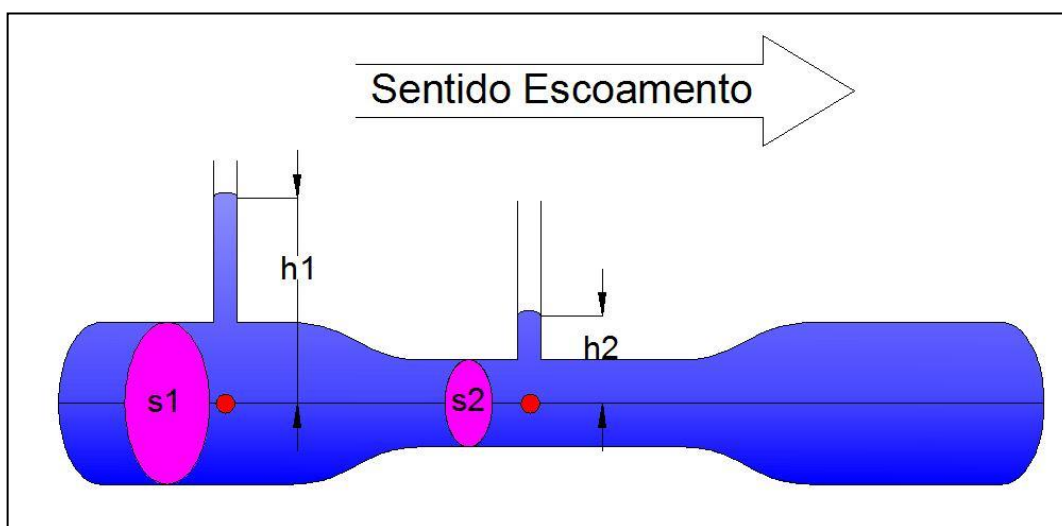


Fig. 12 - Efeito de Venturi na alteração da pressão

Como o escoamento se dá em pressão, terá que haver continuidade da massa líquida pelo que o caudal a atravessar a secção S_1 será o mesmo que atravessa a secção S_2 ilustradas. Sendo o caudal definido pelo volume que atravessa uma determinada secção num dado espaço de tempo, pode-se definir este como:

$$Q = U \times S \quad (29)$$

Em que,

$$Q = \text{Caudal em m}^3/\text{s}$$

$$U = \text{Velocidade de escoamento em m/s}$$

$$S = \text{Área da secção transversal em m}^2$$

Como o caudal é igual nas duas secções:

$$Q_1 = Q_2 \Leftrightarrow U_1 \times S_1 = U_2 \times S_2 \quad (30)$$

Através desta expressão verifica-se que para um mesmo caudal, a velocidade aumenta quando a área da secção transversal diminui e vice-versa.

Com esta consideração, aplicando o teorema de Bernoulli desprezando as perdas de carga entre os dois pontos ilustrados e tendo ainda em conta que as cotas dos dois pontos são iguais e que a pressão nestes pontos é dada pela altura da lâmina líquida acima destes (uma vez que tubos de Pitot estão em regime hidrostático pois estão em contacto com a atmosfera):

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \Leftrightarrow h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \Leftrightarrow h_1 - h_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (31)$$

se conclui que quando se altera a velocidade do escoamento se cria um diferencial de pressões. Este diferencial será negativo (efeito de pressão) se a velocidade a jusante for inferior à velocidade de montante e será positivo (efeito de sucção) se a velocidade de jusante for superior à velocidade de montante.

5.3. COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS SIFÓNICOS

Os diversos sistemas sifónicos disponíveis através dos vários fabricantes são semelhantes. Apresentam uns face aos outros pequenas singularidades, algumas quase impercetíveis, mas os princípios em que o seu funcionamento se baseia e os aspetos genéricos são a todos aplicáveis.

Os principais sistemas disponíveis em Portugal incluem Pluvia da Geberit, Rainplus da Valsir e Epams da Saint Gobain.

Embora a composição deste sistema seja em tudo semelhante aos sistemas tradicionais, podem considerar-se três componentes chave que apresentam algumas distinções para como o sistema tradicional: os ralos, as tubagens e os sistemas de fixação.

5.3.1. RALOS

Dado que podem existir diferenças muito acentuadas na pluviosidade consoante os países, os fornecedores deste tipo de sistemas têm vários tipos de ralo, cada um adaptado a uma gama de caudais. Os ralos comercializados em Portugal operam aproximadamente na gama de caudais entre 1 e 12 litros por segundo. A Figura 13 exemplifica um destes ralos.

Pode-se compreender a sua constituição como um composto de 3 partes:

- A parte superior é relativa à zona de entrada de caudais. Existe uma grelha lateral a todo o perímetro do ralo para impedir a entrada de godos, britas ou outras matérias indesejáveis no seio do sistema. Superiormente, por onde é admitida a menor parte do caudal as águas pluviais dão entrada no sistema através de fendas. Esta parte tem então a dupla funcionalidade de admitir a entrada de água no seu volume interior, impedindo simultaneamente a entrada a outras matérias que possam porventura congestionar o sistema ou provocar o desgaste precoce das tubagens.
- A parte intermédia é a placa de montagem, uma singularidade na laje que faz a ligação entre o ralo propriamente dito e a tubagem. É aqui que se efetua a fixação do componente. Deverá ser percorrido inferiormente por uma tela impermeabilizante de dimensões superiores do que as do ralo para prevenir infiltrações indesejadas para o interior da laje.
- Uma parte inferior que introduz o ralo ao ramal de descarga. Este pode ser visto como o ponto mais a montante da tubagem.

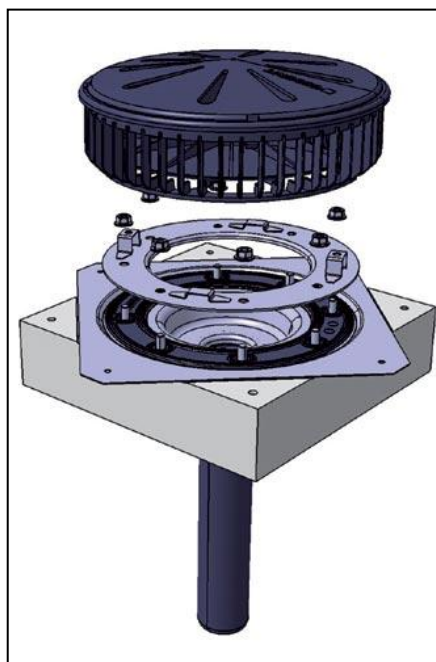


Fig. 13 - Sistema Pluvia da Geberit[17]

5.3.2.TUBAGENS

Embora o PVC seja o material mais amplamente usado nos sistemas tradicionais, a sua aplicação nos sistemas sifónicos não é possível. Há que ter em conta de acordo com os princípios de funcionamento do sistema sifónico que é o próprio escoamento da massa líquida que exerce um efeito de sucção, promovendo o escoamento. Ora, o PVC é um material no qual tensões internas de depressão obrigam ao colapso da tubagem. Aí surge verdadeiramente a necessidade da adoção de outros materiais para este sistema.

Os materiais mais usados para materialização do sistema são o Polietileno de Alta Densidade [PEAD] e o ferro fundido. Em geral, os fornecedores articulam estes sistemas com linhas de tubagens por estes vendidas. A Geberit possui uma linha de PEAD enquanto a Saint Gobain detém uma gama em ferro fundido cinzento, por exemplo. Na tabela seguinte estão sintetizados valores médios de alguns parâmetros comparativos entre estes materiais e o PVC.

Tabela 6 - Comparativo de materiais[18]

Índice	Material		
	PEAD	PVC	Ferro Fundido
Módulo de Young [Mpa]	1000	3275	155000
Tensão de rotura [Mpa]	26,0	48,3	522,5
Força de Impacto [J/cm]	5,59	0,61	>10 [19]
Índice de desgaste volumétrico [20]	86	140	
Coefficiente de dilatação térmica linear [E-6/°C]	120	65	12
Calor Específico [J/kg.C]	2250	1005	500
Temperatura de Fusão [°C]	121	180	1200
Densidade [kg/m3]	953	1450	7250

Relativamente ao PVC o módulo de elasticidade (ou módulo de Young) do PEAD é menor. Isto sugere que este último seja mais deformável do que o PVC. O fato do ferro fundido apresentar um módulo de elasticidade numa ordem de grandeza muito superior, evidencia um material menos deformável. Assim, se por um lado serão menos espetáveis que ocorram deformações neste material, por outro no caso de ser sujeito a deformações induzidas (devidas a erros nas ligações ou assentamentos nos suportes por exemplo), poderá submeter o sistema a um estado de maior tensão interna. Além disso, como os sistemas de drenagem devem absorver deformações da estrutura e por vezes atravessar juntas de dilatação, a flexibilidade (menor módulo de elasticidade) é uma característica favorável.

Os valores da tensão de rotura indicam que quanto menor este valor, maior terá que ser a espessura das paredes da tubagem para o dimensionamento a uma mesma sollicitação.

O PVC apresenta um baixo valor de resistência ao impacto. Motivo pelo qual seja frequente observarem-se tubos de queda em PVC que, quando colocados em passeios ou outro tipo de locais sujeitos a choques (de automóveis, por exemplo), têm um remate final numa tubagem envolvente num material mais resistente como o ferro fundido. Em contraponto com esta situação, o PEAD e o ferro fundido são materiais praticamente inquebráveis a temperaturas correntes.

O índice de desgaste volumétrico é um valor obtido através de um ensaio que permite comparar o efeito da abrasão no material. Quanto menor for este valor, maior será a resistência à abrasão.

A dilatação térmica é um parâmetro importante visto que existe uma forte possibilidade das tubagens serem colocadas no exterior dos edifícios, embora tal não seja necessariamente obrigatório. Assim sendo, estarão sujeitos a amplitudes térmicas cujo efeito não deve ser descurado. Imagine-se um tubo de queda exterior com uma altura de 20 metros. As temperaturas superficiais máximas e mínimas aos quais estes elementos estão sujeitos ao longo de um ano podem facilmente atingir os 40°C, isto mesmo admitindo que a sua temperatura é aproximadamente igual à temperatura ambiente. Tal, claro, não é verdade. Estando sujeitos à radiação solar direta, estes valores podem ser aumentados em grande escala. Ainda assim, calcule-se a sua variação dimensional de acordo com a fórmula:

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta t \quad (32)$$

Sendo,

Δl = *Variação de comprimento em metros*

α = *Coefficiente de dilatação térmica linear em unidades por grau centígrado*

l = *Comprimento da peça em estudo*

Δt = *Variação da temperatura*

Substituindo os valores propostos admitindo uma tubagem em PEAD:

$$\Delta l = 120 \times 10^{-6} \times 20 \times 40 = 0,096m$$

Verifica-se portanto uma variação dimensional de quase 10 centímetros. Ao nível das ligações e da articulação com outros elementos esta ordem de grandeza pode ser problemática. Este problema não se colocará só no PEAD. De fato, embora o ferro fundido por um lado tenha um coeficiente de dilatação térmica linear menor, por outro também o seu calor específico é menor. Tal significa que este material necessita de uma menor energia calorífica para fazer aumentar a sua temperatura.

A temperatura de fusão é importante para as situações de incêndio. A fusão e a possível fluidificação e desintegração do material são situações de risco. Neste âmbito, o ferro fundido apresenta uma maior

segurança. Outra nota acerca do combate contra incêndios recai sobre o fato de a combustão do PVC libertar substâncias tóxicas.

Pelas diferenças nas densidades, certamente se entende o PEAD como sendo um material muito mais leve do que o ferro fundido. Embora com espessuras de tubagens maiores, o PEAD é ainda a solução menos solicitante a nível de cargas nas estruturas.

Além de tudo o que foi disposto anteriormente, há ainda um critério exigencial de grande importância. Para além do efeito da pressão, verificam-se neste sistema velocidades mais elevadas pelo que o efeito de desgaste das tubagens é duplamente agravado. Nesse aspeto, tanto o PEAD como o ferro fundido são materiais com ótima resistência à abrasão.

5.3.3. SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Os sistemas de fixação ganham especial relevo nestes sistemas. Não só pela motivação da utilização de novos materiais, que obrigam a singularidades especiais de acordo com as suas características, mas sobretudo como resultado do funcionamento deste sistema. As ações sobre pontos críticos ao longo da tubagem como variações de inclinação ou direção, tês ou mudanças de diâmetro são muito agravadas pelo fato do sistema se dar em secção cheia em pressão e com velocidades elevadas. Obriga assim este sistema a um sistema de fixação compatível com as solicitações impostas. As forças exercidas em qualquer uma destas singularidades pode ser calculada com recurso ao teorema de Euler ou teorema da quantidade de movimento. O mesmo também pode ser aliás utilizado para calcular coeficientes de perda de carga localizadas. Este enuncia-se como:

“Para um volume determinado no interior de um fluido, é nulo em cada instante o sistema das seguintes forças: peso, resultante das forças de contacto que o meio exterior exerce sobre o fluido contido no volume, através da superfície de fronteira, resultante das forças de inércia e resultante das quantidades de movimento entradas para o volume considerado e dele saídas na unidade de tempo.”[21]

Matematicamente pode-se traduzir o enunciado anterior como:

$$\vec{R} = \vec{\gamma} + \sum -(\rho \times Q \times U_n + p_n \times S_n) \vec{n}_n \quad (33)$$

Significando:

\vec{R} = Vector da força sobre a superfície em Newton.

$\vec{\gamma}$ = Vector do peso do volume de fluido em estudo em Newton.

ρ = Massa específica do fluido em kg/m³ ($\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$).

Q = Caudal em m³/s.

U_n = Velocidade média na secção n em m/s

S_n = Área transversal da secção n em m².

p_n = Pressão média na secção n em Pascal.

\vec{n}_n = Versor normal à superfície n em estudo.

Os versores normais deverão ter sentido positivo dirigido para o exterior do volume de fluido em estudo.

Mas, já que as tubagens quer horizontais quer verticais não devem de estar embutidas, deverão elas próprias ser fixadas ao teto e à parede respetivamente, exceto claro, se estiverem enterradas. Significa portanto, que não basta salvaguardar a ancoragem da estrutura nos pontos críticos mencionados.

As fixações dos sistemas sifônicos em ferro fundido são feitas de modo análogo aos sistemas tradicionais no qual são feitas ligações pontuais através de abraçadeiras pregadas ao teto ou à parede que apoiam duplamente as tubagens. Já os sistemas de drenagem sifônicos em PEAD apoiam-se numa pequena estrutura metálica secundária. Esta estrutura secundária funciona como um carril, ela própria ligada às paredes e aos tetos. No carril fixam-se um tipo de abraçadeiras no qual os tubos não são fixados como no sistema tradicional, mas sim, simplesmente apoiados. Significa isto de que o tubo pode deslizar ao longo desta abraçadeira. Este sistema de apoio advém da necessidade de absorver as dilatações e contrações da tubagem de PEAD por este ser um material mais sujeito a variações dimensionais. Enquanto no sistema tradicional, por o apoio ser do tipo rígido, as deformações seriam transferidas como tensões para os pontos de suporte, no sistema sifónico, a tubagem funciona como se fosse um sistema isostático. Desta feita, dada mobilidade adequada, o sistema adapta-se ao estado de deformação sem transmitir tensões para a estrutura de suporte. O fato da tubagem não estar diretamente ligada á parede apresenta ainda outras características vantajosas. Absorve as vibrações decorrentes da drenagem pluvial impedindo que estas se transfiram para a estrutura quer da forma mecânica (vibrações propriamente ditas) como da forma acústica (ruídos de percussão). Além disso a sua possibilidade de pré-fabricação torna expedita a sua implantação em obra e a fixação da tubagem.

Uma estrutura de montagem deste tipo não é útil para sistemas em ferro fundido pois este é muito menos flexível, não necessitando de tanta mobilidade elástica, e pela sua maior densidade, implicaria estruturas de suporte mais resistentes.

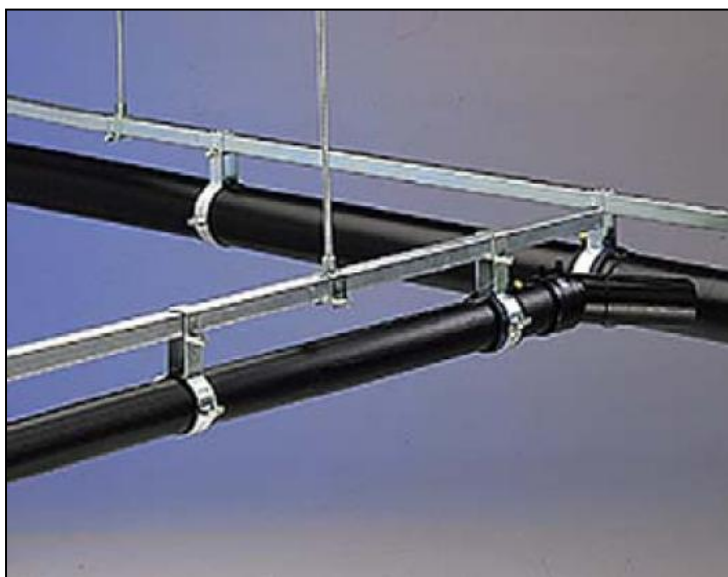


Fig. 14 - Estrutura de suporte do sistema (Geberit Pluvia)[22]

As dilatações são controladas de modos diferentes consoante o material que se use. No ferro fundido estas são controladas vertical e horizontalmente através das próprias juntas elásticas entre tubos. Nos sistemas em PEAD, dado que estes se inserem numa estrutura de suporte, as deformações horizontais são permitidas através da inclusão de um braço de deflexão. Assim o demonstra a figura seguinte.

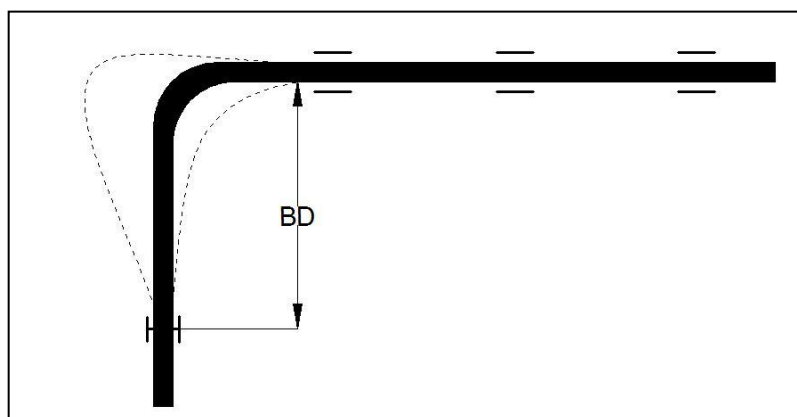


Fig. 15 - Braço de deflexão[22]

O comprimento do braço de deflexão BD recomendado é dado segundo as regras práticas da Geberit pela expressão:

$$BD = 10 \times \sqrt{\Delta l \times D} \quad (34)$$

Em que,

BD = Comprimento do braço de deflexão em milímetros

Δl = Máxima variação dimensional devido à temperatura em milímetros

D = Diâmetro da tubagem associada em milímetros

Verticalmente nestes sistemas as variações dimensionais são absorvidas por juntas de dilatação.

5.4. MODO DE FUNCIONAMENTO

Como já discutido, a principal característica do sistema sifónico que lhe confere todas as suas peculiaridades e aplicações é o de permitir que o escoamento de águas pluviais se dê num regime de escoamento em pressão. Contudo, para tal acontecer deverá existir uma certa solitação ao sistema. É sabido que esta solitação é variável, isto porque as intensidades pluviométricas diferem no tempo. Mesmo durante um mesmo período contínuo de chuva, as intensidades podem sofrer alterações. O sistema sifónico opera no que se podem considerar 4 regimes diferentes, de acordo com a solitação ao qual está submetido:

- Para uma intensidade pluviométrica que origine caudais entre os 10 e os 15% do caudal de projeto, o sistema sifónico funciona como um sistema tradicional de escoamento pluvial por ação da gravidade.
- Entre a solitação anterior e um caudal de 60% do caudal de projeto o sistema opera alternadamente entre o sistema gravítico e em pressão, efeito resultante da capacidade de vazão de cada um dos modos de escoamento. Sendo a capacidade de transporte do sistema tradicional mais limitada, haverá acumulação de água na cobertura. Esta no entanto atingirá uma altura tal que, submergindo o prato anti-vortex, motive a entrada em pressão do sistema aumentando-se a capacidade de vazão e velocidades nas tubagens.
- Para caudais entre os 60 e os 95% do caudal de projeto o escoamento dá-se regime sobre pressão ainda que com a presença de algumas bolhas de ar no seu interior.
- Nos caudais superiores a 95% do caudal de projeto, atingem-se as capacidades máximas de vazão. Devido à inexistência de ar nesta fase no interior das tubagens, o escoamento é silencioso e as velocidades atingem o seu valor máximo.[22]

Para salvaguardar a drenagem de coberturas no caso de chuvadas causadoras de caudais superiores aos de projeto deverão existir dispositivos que assegurem a descarga dos volumes excedentes. Para o efeito podem ser utilizados descarregadores de superfície como referido anteriormente. Na sua impossibilidade, uma outra solução é a utilização de um sistema de drenagem sifónico secundário com um tipo de ralo diferente. Este deverá ser muito semelhante ao sistema principal. A diferença residirá no fato de este só entrar em funcionamento no caso de o sistema principal não ter capacidade de vazão suficiente para o caudal solicitante. Para isso a abertura para admissão de caudais deste ralo é simplesmente colocada a uma altura superior, fazendo com que este opere unicamente quando existe um certo volume excedente acumulado. Esta altura não deverá ser inferior à altura de escoamento de dimensionamento do sistema principal. Na linguagem técnica este ralo toma o nome de trop-plein de segurança. O seu sistema está elucidado na figura seguinte.

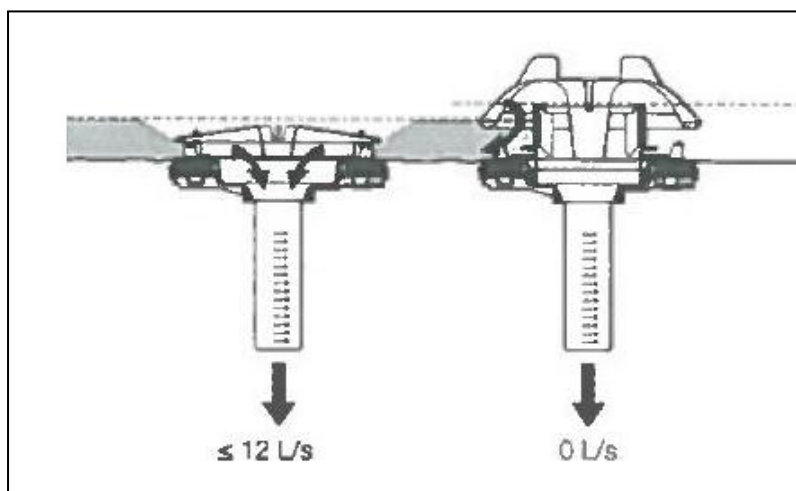


Fig. 16 - Funcionamento normal do sistema sifónico (nenhuma solicitação no trop-plein)[22]

Haverá que ter o cuidado de verificar se a altura de admissão de caudais do trop-plein de segurança é tal que a altura da lâmina líquida de água sobre a cobertura não ponha em causa o seu funcionamento ou integridade estrutural. Os trop-plein de segurança deverão ser dispostos de modo a que o sistema de segurança garanta o escoamento de toda a cobertura ou da porção em que se insere. Devem de ser dimensionados de modo a que os acessos e as zonas transitáveis de peões ou veículos das coberturas não fiquem inundados. Já que os seus princípios de funcionamento são iguais ao do sistema principal, também o dimensionamento haverá de ser feito de igual forma. O seu modo de funcionamento é exatamente igual ao do sistema principal quanto às variações de regimes em função da altura da lâmina líquida. Os ralos do sistema de drenagem de emergência devem ser dispostos de tal modo que consigam escoar a totalidade das águas excedentes de toda a cobertura.

5.5. SINGULARIDADES DO SISTEMA SIFÓNICO

Sendo esta uma tipologia de sistema cujos fundamentos são bastante diferentes dos verificados no sistema gravítico, é natural que possua características singulares possíveis através da abordagem peculiar deste sistema à drenagem pluvial.

5.5.1. FLEXIBILIDADE DO TRAÇADO E POSSIBILIDADE DE PENDENTES NULAS

O fato do escoamento no sistema sifónico se dar em pressão traz enormes vantagens no que toca à condução de águas. No sistema tradicional, o transporte de águas na horizontal em grandes extensões é problemático do ponto de vista das inclinações necessárias para promover o escoamento. Supondo

ramais de descarga com inclinações de 3% segundo um comprimento de 20 metros, verifica-se que o desnível é de 60 centímetros entre o troço de montante e jusante. Do ponto de vista construtivo, a ordem de grandeza desta diferença é altamente significativa uma vez que pode motivar a inclusão de tetos falsos a baixa altura ou a um perfil esteticamente desagradável. Por este motivo, é difícil ligar vários ramais de descarga a um mesmo tubo de queda. Mesmo que num dado projeto se considere como pouco relevantes as notas anteriores e se decida fazer confluir vários ramais de descarga no mínimo número de tubos de queda possíveis, repare-se que consoante a inclinação e distância ao tubo de queda de cada ramal de ligação, as ligações de cada um muito dificilmente coincidirão ao mesmo nível. Isto implicaria efetuar várias ligações a vários níveis a um mesmo tubo de queda, aumentando desnecessariamente a complexidade e a probabilidade da ocorrência de anomalias no sistema.

Havendo um escoamento em pressão, a inclinação em pouco ou nada afetará o escoamento, pelo que neste sistema as inclinações dos ramais de descarga são desnecessárias assim, nestes sistemas, as inclinações podem ser nulas. Em rigor o traçado até poderia ser ascendente em determinados troços, em nada comprometendo a eficiência do sistema. Repare-se que inclinações ascendentes não são adequadas para drenagem de águas pluviais, mesmo que em pressão. Isto porque o sistema nem sempre funciona em pressão, pois para caudais reduzidos este opera em regime gravítico podendo comprometer o seu funcionamento

O fato das pendentes poderem ser nulas facilita a articulação dos vários acessórios, permitindo reduzir os pontos de descarga fazendo confluir vários ramais de descarga a um menor número de tubos de queda. Consequentemente, permite também um menor número de ligações aos coletores prediais e, muito possivelmente, da redução da extensão destes.

Esta facilidade de articulação torna este sistema adequado para construções em que se dê muita importância à arquitetura.

5.5.2. INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA EM OBRA

Diminuindo-se ao número de tubos de queda, diminuir-se-á também o número de caixas de ligação a executar. Sendo que as caixas de ligação são preparadas logo ao início da obra na fase de escavações, entende-se que uma redução no número de caixas a executar cria uma economia monetária e temporal. Além disso, ao reduzir o número de elementos, simplifica-se o sistema global de uma obra, diminuindo o esforço de gestão. Outro contributo para as consequências enumeradas recai sobre o poder de pré-fabricação associada à drenagem de águas pluviais em sistema sifónico. O pré-fabrico facilita a receção e montagem em obra deste sistema, tornando a sua inclusão no seio da obra mais expedita. Por outro lado defende-se a qualidade na construção, já que o controlo em artigos deste tipo pré-fabricados e montados será mais apertado em fábrica do que *in-situ*. Permite ainda ao nível da gestão melhor coordenação na articulação de tarefas, estando esta montagem pouco dependente da conclusão ou da necessidade de execução simultânea de outras tarefas. Esta situação permite que a sua montagem seja deixada para o final da obra, altura em que a sua interferência na execução de outras tarefas seja mínima, maximizando a eficiência global da coordenação e aumentando a celeridade da obra.

5.5.3. USO DE DIÂMETROS MAIS REDUZIDOS

As capacidades de vazão de um dado sistema em pressão são superiores como atrás demonstrado quando comparados com um sistema em regime gravítico. Os elementos mais proeminentes do sistema tradicional, os tubos de queda, apresentam um dimensionamento que conduz a um grande subaproveitamento. Tal pode ser verificado determinando a taxa de ocupação nos tubos de queda.

Para determinar a taxa de ocupação efetiva dos tubos de queda dimensionados segundo o Regulamento pode-se aplicar a fórmula de Wyly-Eaton. Esta fornece valores do caudal transportado para tubagens verticais sujeitas a escoamento gravítico para um determinado diâmetro e taxa de ocupação.

$$Q = 2,5 \times 10^{-4} k^{-0,167} d^{2,667} f^{1,667} \quad (35)$$

Em que,

Q = Caudal transportado em l/s

k = Rugosidade da tubagem em milímetros

d = diâmetro interno do tubo de queda em mm

f = Taxa de ocupação da tubagem

Explicitando em ordem à taxa de ocupação:

$$f^{1,667} = \frac{Q}{2,5 \times 10^{-4} k^{-0,167} d^{2,667}} \Leftrightarrow f = \sqrt[1,667]{\frac{Q}{2,5 \times 10^{-4} k^{-0,167} d^{2,667}}} \quad (36)$$

Aplicando aos valores anteriormente obtidos para tubos de queda, considerando a rugosidade de 0,25mm sugerida pela Norma, verificam-se as taxas de ocupação efectivas que a fórmula prescrita no Regulamento fornece. O exemplo que se segue é para tubos de queda com ligações a caleiras em aresta viva.

Tabela 7 - Taxas de ocupação para tubos de queda com ligações em aresta viva

Diâmetro (mm)	Diâmetro da maior caleira ligada (mm)					
	100	110	120	130	140	150
50	48%	54%	59%	65%	71%	77%
60	39%	43%	47%	52%	56%	61%
70	32%	36%	39%	43%	47%	50%
80	28%	31%	34%	37%	40%	43%
90	24%	27%	29%	32%	35%	37%
100	21%	24%	26%	28%	31%	33%
125	17%	18%	20%	22%	24%	25%
150	14%	15%	16%	18%	19%	21%
175	12%	13%	14%	15%	16%	17%
200	10%	11%	12%	13%	14%	15%
250	8%	9%	9%	10%	11%	12%
300	7%	7%	8%	8%	9%	10%

Verifique-se uma grande disparidade de taxas de ocupação. Ao passo que na Norma os valores são controlados para taxas de ocupação entre o 1/5 e 1/3, verifique-se que no Regulamento existem situações em que o tubo de queda está praticamente cheio (77%) e outras em que a sua taxa de ocupação é muito diminuta (7%). Uma taxa de ocupação de 7% significa que por cada litro de água escoado existam aproximadamente 13 litros de ar. Verifica-se também que à medida que o diâmetro

aumenta reduz-se a taxa de ocupação, evidenciando que para maiores caudais o sistema tradicional se revela progressivamente uma solução menos eficaz. A expressão que o próprio regulamento sugere revela-se inadequada e conduz a situações muito díspares.

Pelo fato de o escoamento em pressão se fazer a secção cheia, é perceptível o ganho na capacidade de transporte, sobretudo para os maiores diâmetros permitindo que se satisfaçam caudais iguais com secções inferiores. Além dos ganhos por o escoamento se fazer em secção cheia, ainda existem a somar os ganhos pelo fato do sistema estar em pressão. Este ganho está no entanto dependente do traçado do sistema.

A redução ao número de elementos e a redução das dimensões dos mesmos reduz ao nível do estaleiro o espaço necessário para armazenamento.

5.5.4. APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Pela facilidade de condução de águas pelo sistema sifónico, este revela-se vantajoso face ao sistema tradicional no que toca a aproveitamento de águas pluviais. O fato do sistema estar isento de pendentes possibilita a condução dos volumes para qualquer ponto possível. O mesmo não ocorre no sistema tradicional. A condução de volumes de água a grandes distância implica desníveis consideráveis. Estes desníveis são prejudiciais quer se façam em altura ou se façam enterrados. Os desníveis em altura são arquitetonicamente pouco apelativos. Por seu lado, desníveis enterrados obrigam a maiores volumes de escavação. Além disso, implica que o reservatório do aproveitamento esteja a uma cota mais baixa, aumentando os custos de bombagem inerentes ao aproveitamento.

5.6. CAMPO DE APLICAÇÃO

5.6.1. GENERALIDADES

Este sistema é apropriado para drenagem de coberturas a níveis elevados. Não é adequado para drenagens de águas freáticas ou ao nível de espaços térreos como terraços, já que da sua eficácia depende a diferença de cotas dos pontos de entrada e saída do sistema. Pode ser utilizado em coberturas planas, com ou sem vegetação, ou utilizado em coberturas inclinadas. Na sua utilização em coberturas planas os ralos são dispostos na própria cobertura, enquanto que nas coberturas inclinadas os ralos são instalados em calhas que operam como se caleiras se tratassem.

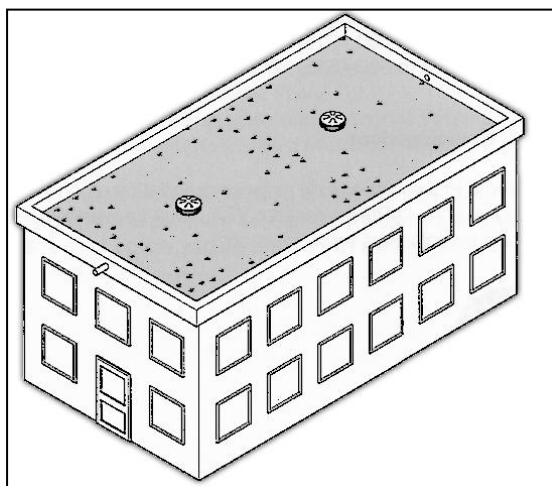


Fig. 17– Aplicação do sistema sifónico em cobertura plana[22]

Um tipo comum de cobertura inclinada, amplamente utilizado em edifícios industriais e com uma boa aplicabilidade para este sistema é a cobertura em shed.

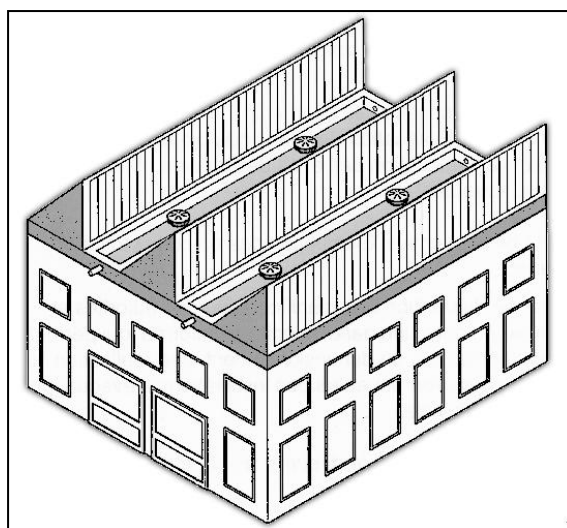


Fig. 18 - Aplicação do sistema sifónico em cobertura em shed[22]

Este tipo de cobertura inclinada é interessante quando se desejam coberturas inclinadas em edifícios com grandes vãos. É ainda muito útil pois permite a entrada de luz. A implantação de caleiras intermédias evita coberturas de muito grande altura. Por outro lado, ao aumentar o número de caleiras, reduz-se a solicitação em cada uma delas, evitando caleiras de elevadas dimensões nos beirados dos edifícios. [23]

Este sistema pode ser utilizado na generalidade das coberturas correntes. Pode ainda ser utilizada em zonas transitáveis por pessoas e automóveis se os ralos forem colocados por debaixo da tela transitável, protegido por grelhas. Para a adaptação aos diferentes materiais e tipos de cobertura poderá haver necessidade de adquirir acessórios próprios, disponíveis através dos próprios fornecedores. A

título elucidativo no Anexo 9 apresentam-se alguns cortes construtivos para integração deste sistema em diversos tipos de cobertura.

5.6.2. SISTEMA SIFÓNICO VS. SISTEMA TRADICIONAL

Abordados ambos os sistemas torna-se importante saber por qual deles optar aquando da elaboração de um projecto de drenagem pluvial. Até aqui é-se levado a crer que o sistema sifónico apresenta claras vantagens, no entanto há algo que limita muito a sua utilização - o seu custo. Este sistema, embora possa traduzir economias no que toca à quantidade de caixas de ligação, ao volume de escavações, ao tempo de execução em obra ou outros como abordado anteriormente, é um sistema cujo custo intrínseco é elevado. Este custo não se deve sobretudo ao recurso a materiais diferentes e sistemas de fixação próprios como seria de esperar mas sim às patentes relacionadas com estes sistemas.

A economia de um qualquer sistema integrante de um edifício é um fator preponderante aquando da sua conceção. Ora, o sistema sifónico revela-se progressivamente mais vantajoso à medida que a área a drenar aumenta uma vez que face ao sistema tradicional traduz-se numa cada vez maior economia no que toca a ralos e tubagens. Por seu turno o sistema tradicional revela-se cada vez um sistema menos eficiente obrigando a incrementos de custo cada vez mais elevados. Tal situação é esquematizada qualitativamente no gráfico seguinte.

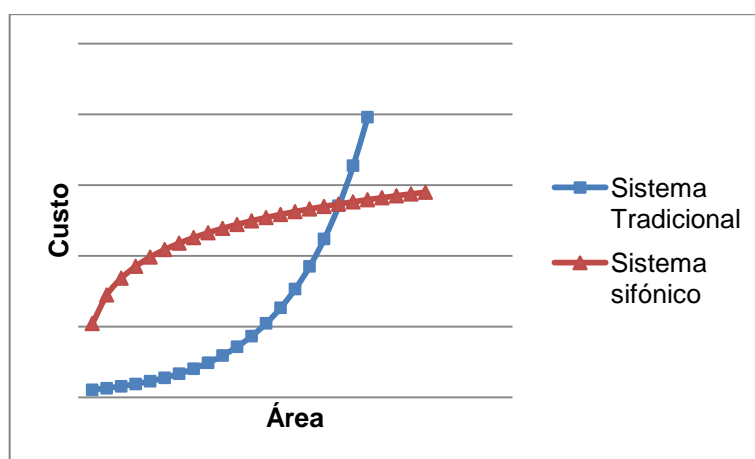


Fig. 19 - Variação qualitativa do custo de cada sistema em função da área. (Nota: Esta é uma idealização teórica fundamentada através da variação da eficácia com o aumento do caudal e dos acréscimos de elementos necessários e da complexidade associados)

Existirá portanto uma gama de áreas em que o sistema sifónico se torna efectivamente uma solução mais económica. Este ponto de transição é de impossível determinação genérica, já que depende de outros factores como a geometria, variando consoante o caso em estudo. Já que este sistema é mais oneroso será de todo o interesse procurar explorar as suas máximas potencialidades. Assim, procure-se determinar a área mínima a drenar através do sistema sifónico que faça uso do seu máximo potencial.

Sendo a capacidade máxima dos ralos comercializados em Portugal de aproximadamente 12 litros por segundo, procure-se determinar a máxima área afecta a cada ralo. Para isso altere-se a fórmula racional do seguinte modo:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600} \Leftrightarrow A = \frac{Q \times 3600}{C \times I} \Leftrightarrow A = \frac{12 \times 3600}{1 \times 1} \Leftrightarrow A = \frac{42300}{1} \quad (37)$$

Assim, partindo dos valores da Tabela 2 as áreas mínimas para atingir um caudal de 12l/s são dados para diferentes períodos de retorno e regiões de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 8 - Áreas afectas a cada ralo para um caudal de 12l/s consoante o período de retorno e a região para uma duração de precipitação de 5 minutos

T (Anos)	Região		
	A	B	C
2	539,38	674,22	449,48
5	411,69	514,61	343,07
10	359,59	449,48	299,66
20	323,19	403,99	269,32
50	287,24	359,05	233,28
100	267,63	332,39	221,59

Estes valores são portanto os que maximizam as potencialidades de cada ralo. Seriam estes então os valores de áreas mínimas em que se deveria equacionar a utilização do sistema sifónico. No entanto, caso tal acontecesse, apenas seria usado um ralo. Enquanto que do ponto de vista de cálculo fosse perfeitamente aceitável, do ponto de vista da conceção tal não acontece. Sugere-se a inclusão no mínimo de dois ralos pois desta forma introduz-se redundância no sistema, funcionando analogamente ao comportamento das estruturas como a adição de um grau de hiperestaticidade. Trata-se portanto de uma sugestão que pretende trazer um maior equilíbrio ao sistema.

Utilizando dois ralos à sua capacidade máxima, para um período de retorno de 20 anos ter-se-ia que a gama de áreas a drenar estará compreendida entre dos 500 e os 800 m^2 dependendo da região. Determina-se assim uma ordem de grandeza de áreas de cobertura a drenar nas quais faz sentido equacionar o uso de um sistema sifónico.

Observe-se agora alguns casos em que o sistema sifónico foi utilizado e a respectiva solicitação média por ralo.

Tabela 9 - Casos de aplicação do sistema sifónico[12]

	Área Drenada (m^2)	Número de Ralos	Caudal médio por ralo (l/s)
ContinentalMabor	20000	62	12,0
Lactogal	37500	131	10,6
Norte Shopping	33700	120	10,4
Shopping Center Gondomar	32500	118	10,2
Shopping Viana do Castelo	14500	53	10,2
Hotel Mélia Aveiro	1821	8	8,5
Ikea	20000	90	8,3
MARL	15000	68	8,2
Autoeuropa	170000	985	6,4
Museu de Arte Contemporânea de Serralves	3700	28	4,9
Estádio D. Afonso Henriques	4800	37	4,8
Estádio Municipal de Braga	14600	113	4,8
Fórum Madeira	9600	104	3,4
Estádio Municipal de Barcelos	1981	52	1,4

Na grande maioria dos casos o caudal médio por ralo aproxima-se da sua capacidade máxima, fomentando uma nítida preocupação em potencializar as capacidades do sistema. Há casos porém onde os valores rondam valores próximos das capacidades mínimas. Repare-se no entanto que estes casos são relativos a estádios e museus. Nestes casos é importante não esquecer que a arquitetura tem um peso considerável, podendo nestes casos o fator economia ser um pouco descurado. Um outro exemplo está no Fórum Madeira. O baixo valor do caudal médio por ralo neste caso advém de uma outra situação, lembre-se aliás da estrutura típica de um fórum: um edifício de geometria rectangular aberta em que uma das dimensões é muito superior à outra. Dado que as coberturas deste tipo de edifícios são muito estreitas torna-se difícil criar pendentes que direcionem para um único ralo uma grande área de cobertura.

Poderão existir situações em que a geometria da própria estrutura crie dificuldades pela dificuldade em criar camadas de forma regulares que sejam capazes de abranger grandes áreas.

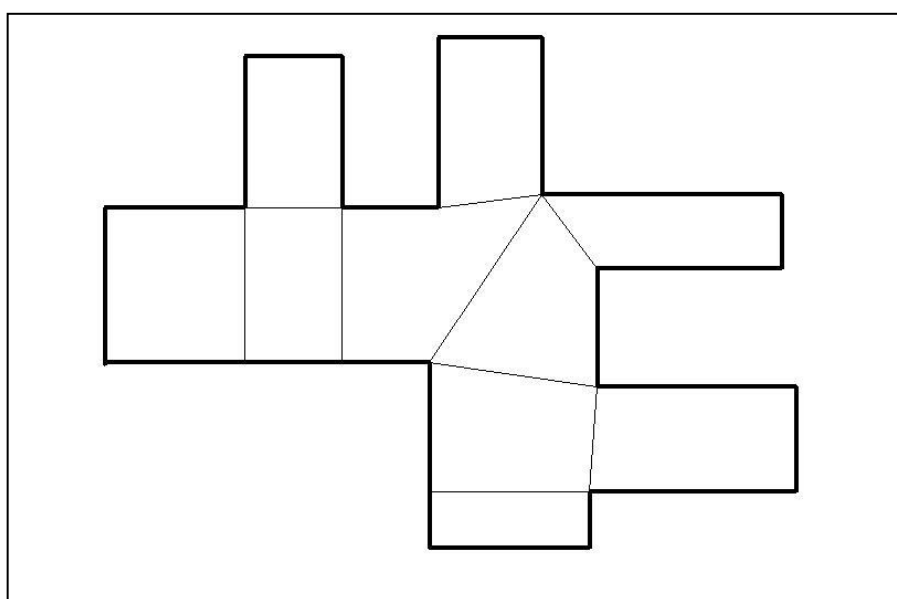


Fig. 20 - Planta de edifício que obriga a uma distribuição irregular das camadas de forma

Este tipo de geometrias irregulares faz com que as admissões em cada ralo possam ser muito diferentes. Operando este sistema como um todo, a admissão de caudais muito díspares por ralo obriga a que o sistema seja menos eficiente.

Mais considerações sobre quando preferir a utilização de um sistema face ao outro encontram-se no capítulo de conclusão desta tese.

5.7. CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SIFÓNICO

O dimensionamento é feito pelos próprios fornecedores destes sistemas com recurso a software próprio dados os projectos de estruturas e arquitetura do edifício e as diretrizes quanto a singularidades como posição preferencial de tubos de queda, necessidade de aproveitamento de águas pluviais, zonas de exclusão de condutas verticais, preferência pela quantidade, a disposição dos ralos ou outras.

O software é na realidade um programa de simulação de redes hidráulicas que aplica o teorema de Bernoulli entre os diferentes pontos de entrada e saída do sistema no qual o caudal de cada ralo é

conhecido, sendo aliás, o mesmo caudal determinado para redes tradicionais já que as bases para o dimensionamento são as mesmas. O software é afetado de margens de segurança próprias a cada empresa e alerta o projetista se detetar alguma singularidade que possa pôr em causa as condições de funcionamento.

A eficácia deste tipo de sistema recai na capacidade de se causarem pressões negativas (depressões) ao longo do traçado da rede. Para isso, o projetista deste sistema procurará a máxima diferença de cotas entre os pontos de entrada e saída assim como estabelecer reduções de diâmetros ao longo do traçado para promover o diferencial de pressões. Lembre-se que no sistema tradicional não são permitidas reduções de diâmetros no sentido do escoamento. Tal, de fato, tem toda a razão de ser. Como os caudais à partida só aumentam no sentido do escoamento e este está dimensionado para secção cheia, não é lógico dimensionar um órgão com uma determinada secção para um determinado caudal e a jusante possuir um órgão a este ligado também este dimensionado para secção cheia e com possivelmente maior caudal que tenha uma secção transversal menor.

Serão de evitar drenagens de coberturas com diferenças de cotas superiores a 4 metros num mesmo sistema pelo que para cada uma destas deverá existir um sistema independente. Tal é imposto pois se porventura as coberturas inferiores não estiverem a admitir caudal suficiente por motivos de entupimentos, avarias ou por motivos de obstrução à queda de pluviosidade nesta cobertura, a zona de drenagem inferior não estará a uma pressão superior como seria de esperar. Assim sendo, a ausência de pressão pode fazer com que as águas coletadas a um nível superior circulem para estes patamares. Por esse mesmo motivo, a disposição dos ralos deve ser estudada quanto a possíveis obstruções que causem que os caudais previstos não se verifiquem como a presença de edifícios altos nas imediações, árvores em redor, patamares superiores e a direção do vento.

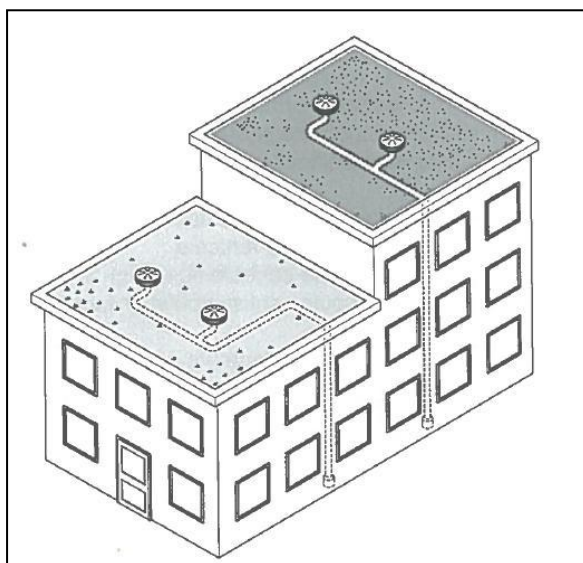


Fig. 21 - Drenagem independente em coberturas a diferentes cotas [22]

Não deverá ser esquecido que embora seja o dimensionamento das tubagens e da disposição de ralos e dos tubos de queda o principal objetivo nesta fase, é ainda necessário projetar as estruturas e suporte e eventuais sistemas de trop-plein de segurança.

Para garantir a autolimpeza do sistema a velocidade mínima em todas as tubagens deverá ser de $1m/s$. Não existem grandes salvaguardas quanto à velocidade máxima. Esta pode perfeitamente atingir a

ordem dos 10m/s. Faz-se um alerta ao uso do sistema sifônico uma vez que, devido aos diâmetros reduzidos utilizados, está mais suscetível a obstruções causadoras de entupimentos. Por outro lado, pelos grandes caudais que os elementos deste sistema estão destinados a transportar, as consequências de uma possível obstrução são mais severas.

Pela índole do dimensionamento dos sistemas de drenagem pluviais admite que para situações excepcionais este estará subdimensionado e o mesmo não terá capacidade de vazão. Tal não é dramático. Tratando-se de situações muito pontuais e também dispondo de dispositivos de descarga de emergência, não haverá grandes consequências para o edifício. O sobredimensionamento, para além de aumentar ao custo do sistema traz problemas a ambos os sistemas na medida em que não se promove a autolimpeza dos mesmos. O caso torna-se mais grave no caso dos sistemas sifônicos pois pela ausência de pendente as exigências quanto a autolimpeza são superiores. Mais criticamente, o sobredimensionamento ainda impedirá o estabelecimento do regime de pressão diminuindo a sua eficácia.

5.7.1. DISPOSIÇÃO DOS RALOS

Os ralos devem ser colocados cerca de 2 cm (pode variar consoante o fabricante e o tipo de ralo) abaixo da superfície superior da cobertura para permitir o seu adequado encaixe e impermeabilização correta da cobertura.

Devem-se ralos afastados em mais do que 20 metros entre si se ligados a um mesmo tubo de queda. Se um ralo estiver muito afastado de um tubo de queda ou de outro ramal de descarga a perda de carga ao longo da tubagem pode ser significativa causando heterogeneidades de pressões ao longo da tubagem que podem alterar as condições de escoamento.

Os ralos deverão estar colocados a um mínimo de 1 metro de distância de platibandas, beirados ou similares pois estes são pontos onde se acumula neve e folhas por acção do vento.

5.7.2. MUDANÇAS DE DIÂMETRO

Problemas se colocam quanto à mudança de diâmetros em tubagens horizontais.

Se houverem reduções de diâmetro feitas pelo bordo superior corre-se o risco de, aquando da entrada em pressão do sistema, haver aprisionamento de ar pré-existente de quando o sistema ainda estava a funcionar em regime puramente gravítico.

Por outro lado, se a redução de diâmetro for feita pelo bordo inferior ocorre impossibilidade de fazer escoar a água pluvial uma vez que ela fica estagnada pela presença de um obstáculo, a menos, claro, que a solicitação se torne maior

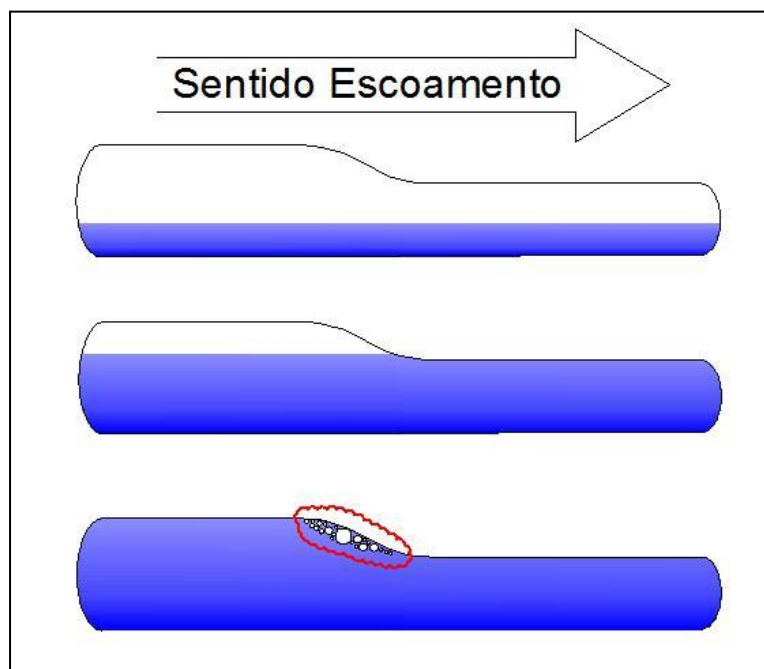


Fig. 22 - Problemas na redução do diâmetro pelo bordo superior

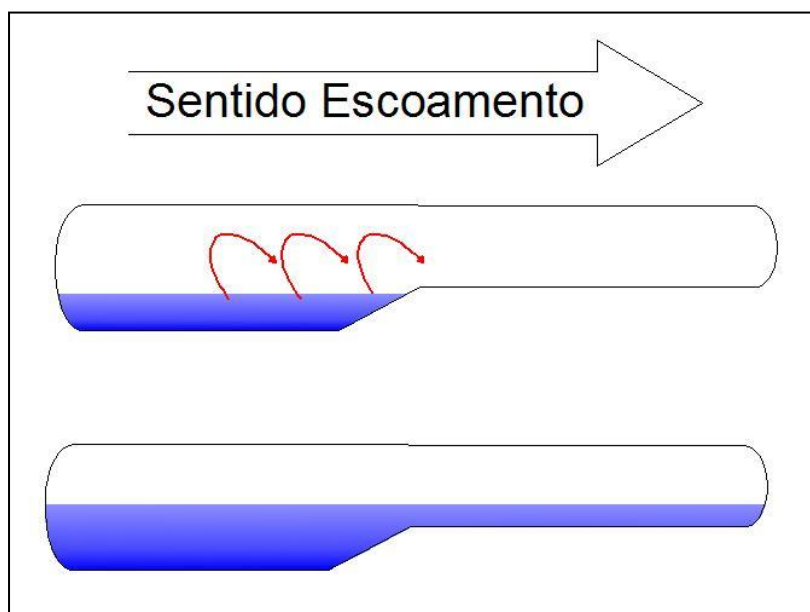


Fig. 23 - Problemas na redução de diâmetro pelo bordo inferior

Por este motivo, todas as reduções de diâmetro deverão ser feitas nos troços verticais por forma a acautelar todas as anomalias avaliadas. As transições de inclinação e direção devem ser sempre feitas através de curvas suaves.

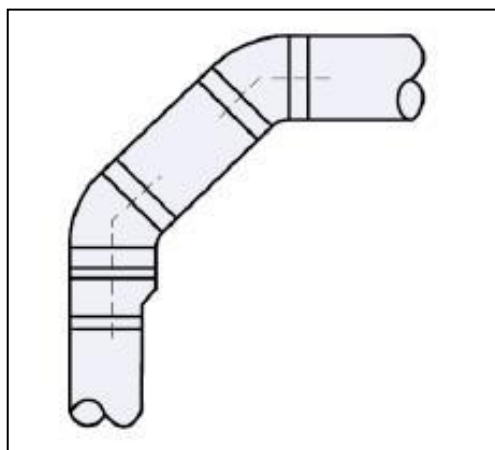


Fig. 24 -Exemplo de transição de diâmetros em troços verticais e ligação aos troços horizontais

Embora as reduções de diâmetro tenham um efeito benéfico no poder de sucção do sistema, nem todos os caudais poderão passar por um mesmo diâmetro dadas as diferenças de pressões atuantes. Isto porque quando menor o diâmetro, maiores serão as perdas de carga e não se poderá fazer escoar um caudal num sistema em que a perda de carga teórica será maior do que o diferencial de pressões disponível. Por este motivo devem de ser possíveis aumentos dos diâmetros ao longo da tubagem. É expectável que estes ocorram nas proximidades dos ralos, pois será aqui que haverá confluência de caudais.

Fosse o aumento feito pelo bordo superior incorrer-se-ia no risco de aprisionamento de ar na transição de regimes de escoamento, à semelhança do que ocorria na redução de diâmetros pelo bordo superior.

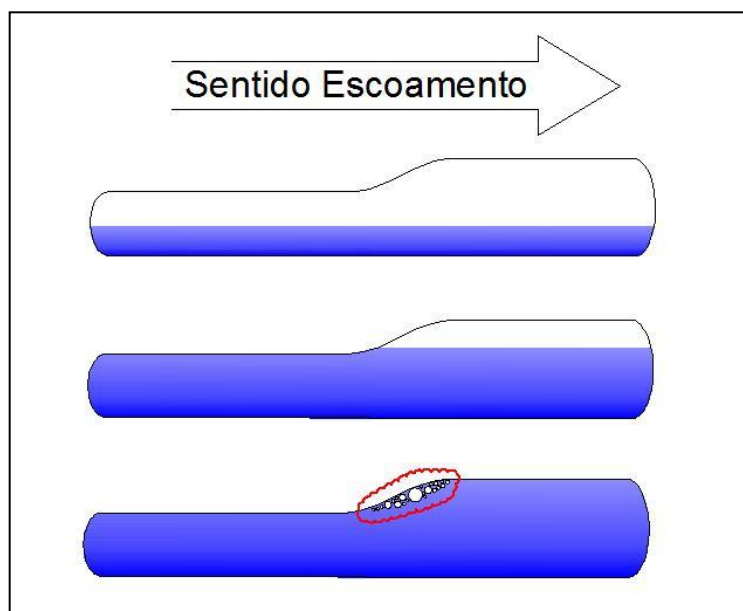


Fig. 25 - Problemas no incremento de diâmetro pelo bordo superior

Na necessidade de se proceder ao aumento do diâmetro ao longo do traçado de um sistema de drenagem pluvial em pressão, deverá o aumento ser dado pelo bordo inferior. O aumento não poderá contudo ser brusco. Ao invés, deverá ser suave e contínuo por forma a garantir a continuidade da massa líquida evitando desta forma a possível deposição de sedimentos no bordo inferior.

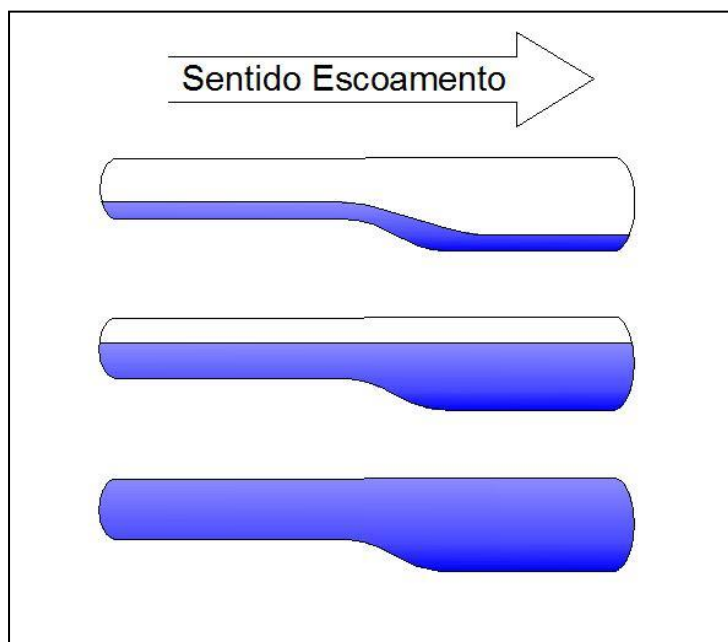


Fig. 26 - Modo correto de incrementar o diâmetro em tubagens horizontais

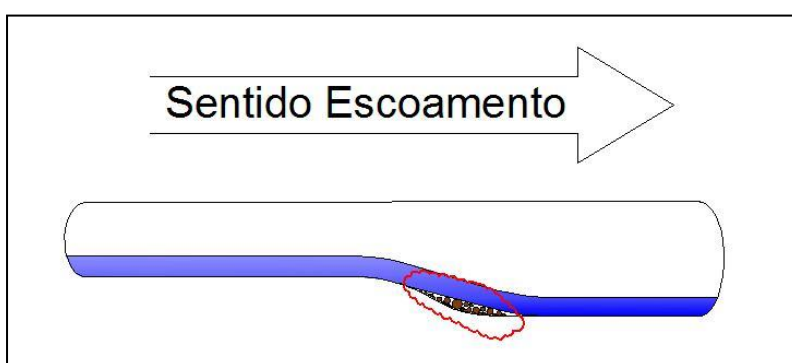


Fig. 27 - Problemas associados ao incremento brusco do diâmetro pelo bordo inferior

Relativamente à mudança de diâmetros é recomendável que, quer se pretenda aumentar ou diminuir e independentemente da sua motivação, a sua alteração não deverá ser maior que a ordem de dois diâmetros comercializados. Esta motivação justifica-se não só pelos exemplos aqui verificados mas também por uma questão de prática ao qual os programas de cálculo estão completamente alheios. Uma alteração muito grande de diâmetros perturba as condições de escoamento e os princípios nos quais o cálculo se baseia podem deixar de ser válidos.

5.7.3. LIGAÇÃO DO SISTEMA EM PRESSÃO À REDE PÚBLICA

Há que relembrar que os sistemas de drenagem prediais estão ligados às redes de drenagem urbana. Estas por sua vez, como visto no capítulo segundo, funcionam à partida em regime gravítico. É então necessário que a jusante da conceção do sistema sifónico e ainda antes da entrada na rede pública se transite para o sistema de escoamento tradicional. Uma ligação direta sem quaisquer cuidados não faria sentido, pois pelos princípios da hidráulica e como se tratam de escoamentos confinados, torna-se impossível coexistirem os dois tipos de escoamento. O que inviabiliza tal fenómeno é a presença de ar.

Enquanto no sistema em pressão não existe ar na tubagem, havendo este sido expulso aquando da entrada no sistema em funcionamento neste regime, no sistema gravítico pode existir circulação de ar, motivo aliás que impossibilita a entrada em pressão do sistema.

Esta não é a única motivação para a necessidade de troca de sistema. As velocidades praticadas num sistema e noutra são muito diferentes. Observe-se a tabela seguinte que fornece as velocidades para os caudais de ramais de ligação estimados no Anexo 5 pela aplicação direta da fórmula da definição de caudal que relaciona este com a velocidade e o diâmetro.

Tabela 10 - Valores da velocidade em m/s para os caudais máximos regulamentares em ramais de ligação

PVC K=120 Diâmetro (mm)	Inclinação							
	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%	7,0%	8,0%
125	1,19	1,68	2,06	2,38	2,66	2,92	3,15	3,37
150	1,34	1,90	2,33	2,69	3,01	3,29	3,56	3,80
175	1,49	2,11	2,58	2,98	3,33	3,65	3,94	4,21
200	1,63	2,30	2,82	3,26	3,64	3,99	4,31	4,61
225	1,76	2,49	3,05	3,52	3,94	4,32	4,66	4,98
250	1,89	2,67	3,27	3,78	4,23	4,63	5,00	5,35
275	2,01	2,85	3,49	4,03	4,50	4,93	5,33	5,70
300	2,13	3,02	3,70	4,27	4,77	5,23	5,65	6,04
325	2,25	3,18	3,90	4,50	5,03	5,51	5,96	6,37
350	2,37	3,34	4,10	4,73	5,29	5,79	6,26	6,69
375	2,48	3,50	4,29	4,95	5,54	6,07	6,55	7,00
400	2,59	3,66	4,48	5,17	5,78	6,33	6,84	7,31

Verifica-se que os valores das velocidades rondam os 3/4 metros por segundo. Ora, no sistema em pressão as velocidades podem atingir o dobro ou triplo da velocidade, velocidades incompatíveis com as condições de escoamento na rede urbana e de desgaste dos materiais das mesmas.

Torna-se então necessário uma dupla ação: por um lado permitir que se expulsa o ar da tubagem a operar sobre pressão e se admita ar se necessário nos ramais de ligação a operar em regime gravítico e por outro que se reduzam as elevadas velocidades de saída do sistema sobre pressão para evitar desgaste das caixas de visita e das tubagens do sistema tradicional.

Existem vários modos de transitar para o sistema tradicional, variando de acordo com cada projeto e consoante os traçados e as peculiaridades dos mesmos. Em termos da gíria, esta necessidade designa-se por descompressão.

Na presença de tubos de queda pelo interior dos edifícios, estes haverão que atravessar eventualmente a laje de pavimento. Sobre estas condições serão possíveis duas conceções para a descompressão: descompressão acima da laje ou descompressão abaixo da laje.

A descompressão acima da laje será feita através de um aumento de diâmetro antes da tubagem atravessar a laje, diâmetro este dimensionado de modo a que se quebre o efeito de pressão e se reduza a velocidade de escoamento. Por debaixo da laje e até à ligação à rede urbana o sistema funcionará em sistema gravítico.

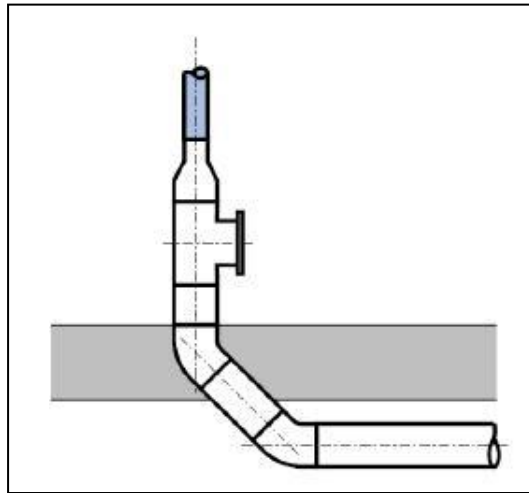


Fig. 28 - Entrada em sistema gravítico antes do atravessamento da laje de fundação[22]

A descompressão abaixo da laje é em tudo análoga à anterior, com a singularidade do aumento de diâmetro ser efetuado já depois do atravessamento da laje.

Em ambos os casos, deverão ser colocados pontos de acesso ao sistema (acima da laje portanto). O acesso é permitido pela inclusão de tampas na própria tubagem. Permitirá esta que se inspecione o sistema e se faça a desobstrução no caso de ocorrer um entupimento.

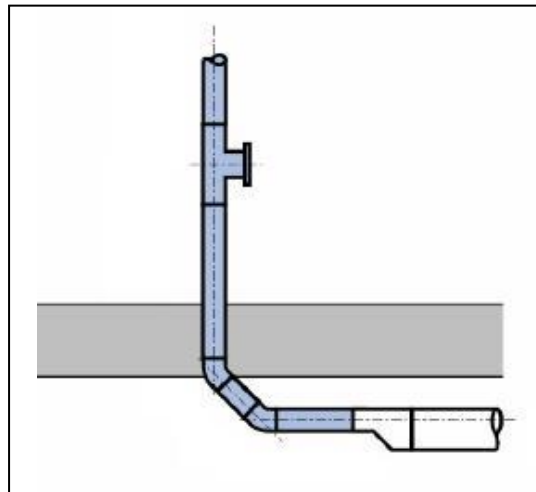


Fig. 29 - Entrada em sistema gravítico depois do atravessamento da laje de pavimento[22]

As descompressões podem ser feitas através de caixas de ligação. No caso dos alinhamentos das tubagens de montante e jusante da caixa de ligação serem concordantes a descompressão é feita ao nível da própria caixa não necessitando de aumento do diâmetro ao longo da tubagem. A montante da caixa a tubagem operará toda ela em regime sobre pressão e a jusante em regime gravítico.

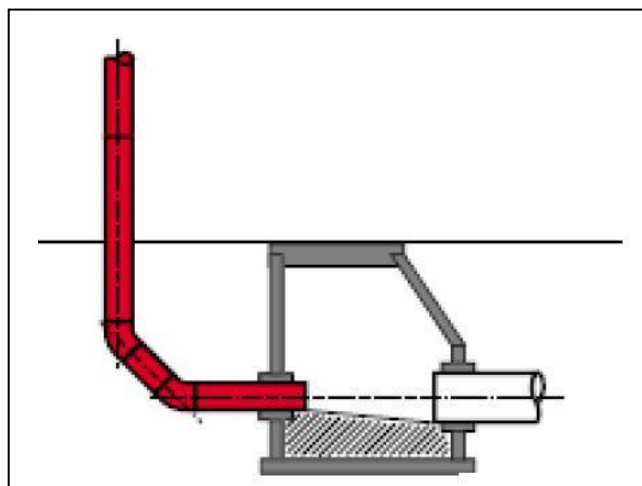


Fig. 30 - Entrada em sistema gravítico através de caixa de ligação no caso de tubagens com alinhamentos concordantes[22]

No caso de os alinhamentos da caixa de ligação não serem concordantes deverá a descompressão ser parcializada por um aumento de diâmetro a montante da caixa de ligação, destinado a reduzir as velocidades de escoamento e evitar abrasão das paredes da caixa de ligação. O comprimento do troço inicial de descompressão não deve ser inferior a 2 metros.[22] A jusante da caixa de ligação, todo o sistema opera em regime gravítico.

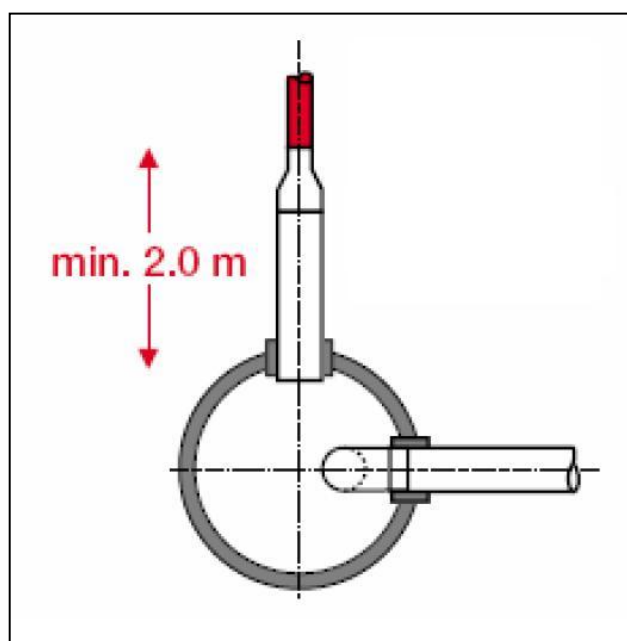


Fig. 31 - Planta de entrada em sistema gravítico através de caixa de ligação com tubagens de alinhamentos não concordantes[22]

A descompressão poderá ainda ser feita em troço horizontal enterrado contínuo unicamente através do aumento de diâmetro. Para isso, deverá a montante do troço gravítico ser instalada uma caixa de controlo que permita o acesso à tubagem para inspeção e manutenção.

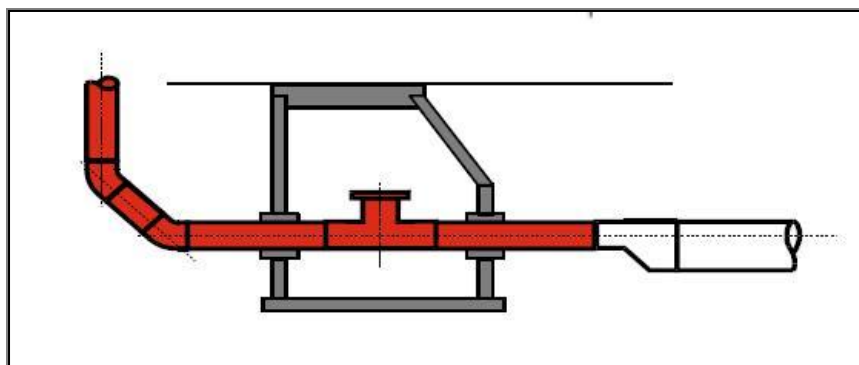


Fig. 32 - Entrada em sistema gravítico através de caixa de controlo[22]

No caso de se englobar nas situações de soluções simplificadas de drenagem ao abrigo do Art. 114º do Regulamento ou outras situações que motivem uma ligação direta a um meio recetor exterior não são necessárias medidas de descompressão. Deverá porém haver cuidados para impedir a formação de gelo nas tubagens.

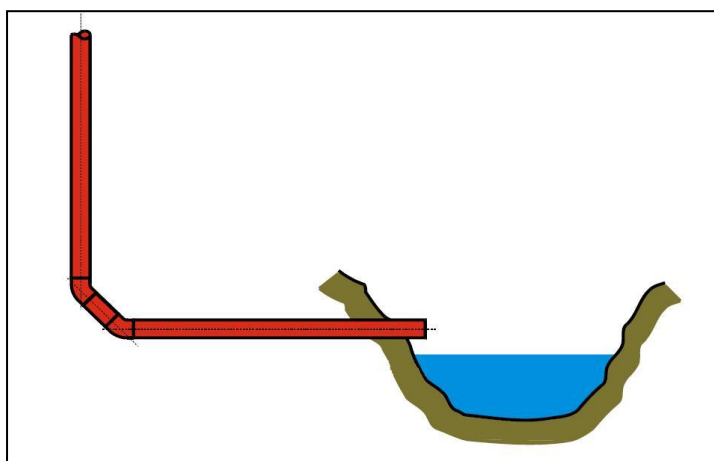


Fig. 33 - Ligação direta ao meio recetor[22]

6

CONCLUSÕES

Ao longo da presente dissertação foram levantadas questões que devem ser objeto de investigação mais aprofundada. Em forma de complemento desta tese propõe-se que se compare diversos edifícios cuja drenagem de águas pluviais é feita em sistema sifónico com alternativas em sistema tradicional. Para tal recolher-se-iam projetos de edifícios já executados ou não cuja drenagem é feita a partir do sistema sifónico. Aí partindo das tabelas de cálculo para sistemas em regime gravítico tradicional constantes dos Anexos do presente trabalho que permitem um dimensionamento expedito, projetar-se-iam algumas soluções possíveis em sistema tradicional. Em seguida contrapor-se-iam as soluções tradicionais e em pressão. Os aspetos principais a focar seriam os custos de cada solução, o número de tubos de queda, a quantidade de material gasto e a quantidade de ralos utilizados. Uma vez que os sistemas sifónicos ganham progressivamente mais vantagens à medida que as áreas são maiores, o objetivo seria definir um intervalo de áreas em que cada um dos sistemas seria mais apto. Por este motivo, os projetos a estudar devem ser o mais díspares quanto possível no que toca às dimensões das áreas a drenar.

O estudo mais teórico efetuado neste trabalho permitiu no entanto desde já, contrapondo-o ao sistema tradicional, identificar quais as suas potencialidades sumariando-se desta forma:

- Inexistência de pendentes nos traçados horizontais
- Redução dos tubos de queda e das caixas de ligação a executar
- Redução dos diâmetros das tubagens
- Diminuição das escavações para tubagens enterradas
- Diminuição das caixas de ligação a executar
- Possibilidade de pré-fabricação
- Mais fácil gestão logística
- Aptidão para integração em sistemas de aproveitamento de águas pluviais
- Flexibilidade do traçado

Por seu turno, as suas limitações revelam-se nas seguintes matérias:

- Custo pouco económico para pequenas áreas a drenar ou coberturas que pela sua geometria dificultem a afetação de uma grande área a um mesmo ralo
- Implica acumulação de alturas de água na cobertura cujas cargas haverão de ser previstas à priori

- Implica maiores cuidados de manutenção já que é mais suscetível a entupimentos, tornando-o pouco apto para edifícios habitacionais em que os cuidados de manutenção são mais escassos.
- Dificuldade na drenagem de coberturas a diferentes cotas por um mesmo sistema
- Dificuldade de aproveitamento satisfatório em coberturas com geometrias muito irregulares com múltiplas saliências e reentrâncias

Posto isto, sumariam-se os casos em que o sistema sifónico estará mais apto:

- Coberturas com áreas superiores a 500m²
- Edifícios em que se dê especial valor à arquitectura
- Situações em que haja necessidades de grandes aproveitamentos pluviais

São exemplos destes casos:

- Edifícios fabris
- Piscinas cobertas
- Edifícios monumentais, de cariz cultural ou de outra forma icónico
- Grandes parques automóveis
- Hotéis
- Edifícios de gestão privada com grandes áreas de cobertura

Este sumário permitirá o de criar um ponto prévio de partida no qual se deve equacionar ou não a possibilidade de projetar uma solução de drenagem pluvial em sistema sifónico. Desta forma os intervenientes numa dada obra ficam mais elucidados sobre o sistema a usar e a devida justificação da utilização do mesmo. Compreendendo estas motivações abrem-se portas para o desenvolvimento e expansão de sistemas inovadores, promovendo o seu uso nos casos mais favoráveis e alertando para os casos em que a sua implementação pode não trazer benefícios.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.forma-te.com/mediateca/download-document/9120-esgotos-pluv.html>. Março 2012.
- [2] <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/141006/1/5%20Capitulo%204.pdf>. Março 2012.
- [3] https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/141000/1/ducp_FF_parte1.pdf. Março 2012.
- [4] https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1034938/1/ES_1_Concepcao_Sistemas_Drenagem.pdf. Março 2012
- [5] <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/141008/1/6%20Capitulo%205.pdf>. Março 2012
- [6] *The History of Plumbing—Roman and English Legacy - Plumbing & Mechanical (July 1989)*. <http://www.theplumber.com>. Março 2012
- [7] Matos, José de Saldanha. *Aspetos Históricos e Atuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano*, 2003. <http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num16/Pag%2013-23.pdf>. Março de 2012
- [8] Hodge, A.T. *Roman Aqueducts & Water Supply*. Duckworth, Londres, 1992
- [9] <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=657&sid=259&tpl=printerview>. Março 2012
- [10] Pedroso, Vítor M. Ramos. *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. LNEC, 2008.
- [11] Siphonic Roof Drainage Association. *The siphonic guide: a guide to siphonic roof drainage*. 2011. www.siphonic-roof-drainage.co.uk, Abril 2012
- [12] http://w3.ualg.pt/~mfarinha/TECNOLOGIA_EDIFICIOS/Sistemas%20de%20drenagem%20Geberit_UALG_NOV09.pdf. Abril 2012
- [13] <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=121>. Abril 2012
- [14] Rott, N. *Note on the history of the Reynolds number*. Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 22, 1990
- [15] MASSEY, B. *Mechanics of fluids*. 8ª edição. Taylor & Francis, Abingdon, 2006
- [17] <http://www.haustechnikdialog.de/News/Images.aspxID=11056&Number=1>. Abril 2012
- [18] www.methbase.com. Abril 2012
- [19] <http://www.foundryworld.com/uploadfile/201131448756637.pdf>. Junho 2012
- [20] http://www.hipermetal.com.br/site/produtos/plasticos_industriais/Polietileno.pdf. Abril 2012
- [21] <http://pt.scribd.com/doc/63341002/22/Teorema-da-quantidade-de-movimento-ou-de-Euler>. Abril 2012
- [22] Geberit. *Manuel pour études sanitaires*. Janeiro 2011
- [23] http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=tipologia. Abril 2012
- Novais-Barbosa, J. *Mecânica dos fluidos e hidráulica geral, volumes 1 e 2*. Porto Editora, 1985
- Decreto-Regulamentar N° 23/95 – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Drenagem de Águas Residuais*. Diário da República, I Série B, n° 1984, 1995.

Pedroso, Vitor M. Ramos. *Regras de Dimensionamento das Redes Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Pluviais*. LNEC, 1994.

Titow, W. *Pvc Technology*. Elsevier Applied Science Publishers, Londres, 1984

Garcia, Valdemar. *Mecânica dos Fluidos/Hidráulica Geral I*. Instituto Politécnico de Bragança, 2006.

Quintela, A. C. *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2005.

http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste66.pdf. Março 2012

[http://www.geberit.pt/web/appl/pt/wcmspt.nsf/files/usr-pro-cat_PEAD.pdf/\\$file/cat_PEAD.pdf](http://www.geberit.pt/web/appl/pt/wcmspt.nsf/files/usr-pro-cat_PEAD.pdf/$file/cat_PEAD.pdf). Junho 2012

http://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/125/1/14_27.pdf. Junho 2012

ANEXO 1 – CÁLCULO SIMPLIFICADO DE CALEIRAS/ALGEROZES CIRCULARES E QUADRO-RESUMO PARA DIMENSIONAMENTO

Sabendo que para efeitos de dimensionamento de caleiras e algerozes a altura da lâmina líquida não deve exceder 70% da altura da secção transversal pode-se para estas condições de funcionamento escrever os parâmetros da forma representada na figura seguinte onde r representa o raio.

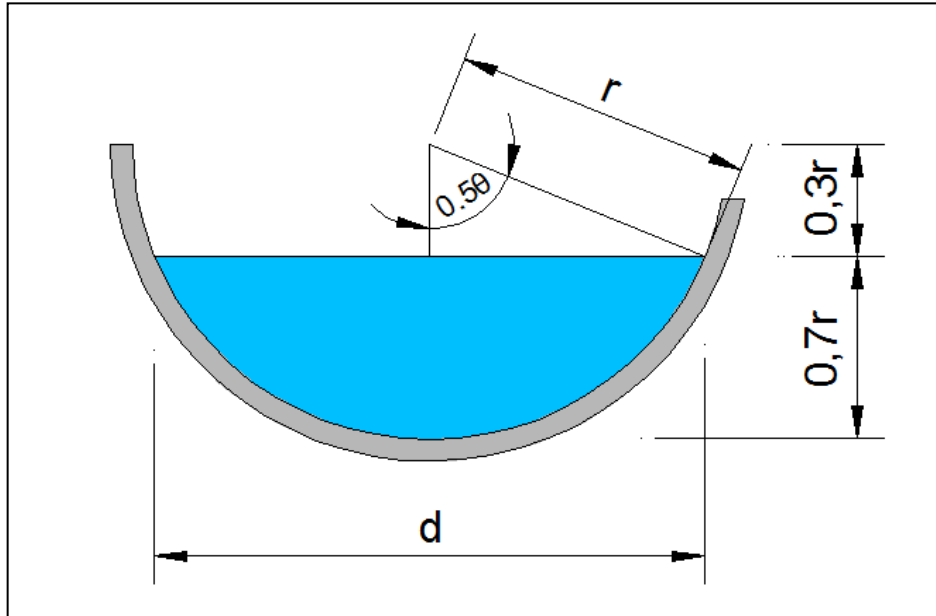


Fig. A1 - Funcionamento de caleira/algerozes circulares à capacidade máxima

Aplicando alguma trigonometria simples no triângulo representado pode-se escrever:

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{0,3r}{r} \tag{38}$$

e simplificando a expressão determina-se:

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{0,3r}{r} \Leftrightarrow \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = 0,3 \Leftrightarrow \frac{\theta}{2} = \cos^{-1}(0,3) \Leftrightarrow \frac{\theta}{2} \approx 1,2661 \Leftrightarrow \theta \approx 2,5322 \text{ rad}$$

Substituindo este valor nas fórmulas relativas ao escoamento em superfícies de secção circular, obtêm-se fórmulas aproximadas:

$$S = \frac{(\theta - \sin \theta)d^2}{8} \approx \frac{(2,5322 - \sin 2,5322)d^2}{8} \approx 0,2450d^2$$

$$\lambda = \frac{d\theta}{2} \approx \frac{2,5322d}{2} \approx 1,2661d$$

$$R = \frac{(\theta - \sin \theta)d}{4\theta} = \frac{(2,5322 - \sin 2,5322)d}{4 \cdot 2,5322} = 0,1935d \tag{39}$$

Estas expressões simplificadas são úteis quando substituídas na equação de Manning-Strickler pois só dependem do diâmetro. A equação toma então a forma:

$$Q = K_m \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} = K \cdot 0,2450d^2 \cdot (0,1935d)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} \tag{40}$$

Considerando os diâmetros comerciais mais comuns, escolhendo um material e uma gama de inclinações é possível construir uma tabela que fornece os caudais máximos para uma dada secção, material e inclinação como é exemplo a tabela seguinte.

Tabela A1 - Caudal máximo regulamentar em l/s para caleiras e algerozes em PVC para diferentes diâmetros e inclinações

PVC Km=120 Inclinação (%)	Diâmetro (mm)					
	100	110	120	130	140	150
0,2	4,40	5,67	7,15	8,85	10,79	12,97
0,3	5,39	6,95	8,76	10,84	13,21	15,88
0,4	6,22	8,02	10,12	12,52	15,26	18,34
0,5	6,95	8,97	11,31	14,00	17,06	20,51
0,6	7,62	9,82	12,39	15,34	18,69	22,46
0,7	8,23	10,61	13,38	16,57	20,18	24,26
0,8	8,80	11,34	14,31	17,71	21,58	25,94
0,9	9,33	12,03	15,17	18,78	22,89	27,51
1,0	9,84	12,68	15,99	19,80	24,13	29,00
1,1	10,32	13,30	16,77	20,77	25,30	30,41
1,2	10,77	13,89	17,52	21,69	26,43	31,77
1,3	11,21	14,46	18,24	22,57	27,51	33,06
1,4	11,64	15,01	18,92	23,43	28,55	34,31
1,5	12,05	15,53	19,59	24,25	29,55	35,52

Idealizada uma conceção do sistema de drenagem de águas pluviais inicial, e tendo em conta os caudais de cálculo obtidos pela fórmula racional torna-se simples através de uma tabela deste género dimensionar caleiras e algerozes circulares. Este exemplo foi feito para caleiras e algerozes em PVC. Repare-se no entanto que o caudal transportado é diretamente proporcional ao valor de K, pelo que para extrapolar estes resultados para outros materiais, basta afetar os valores pela relação entre as rugosidades dos materiais.

ANEXO 2 – TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS DE DESCARGA

Tabela A2 - Capacidade máxima regulamentar em l/s para ramais de descarga em PVC para diferentes diâmetros e inclinações

Pvc Km=120 Diâmetro (mm)	Inclinação								
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%
40	0,49	0,70	0,86	0,99	1,11	1,21	1,40	1,57	1,71
45	0,68	0,96	1,17	1,36	1,52	1,66	1,92	2,14	2,35
50	0,90	1,27	1,55	1,79	2,01	2,20	2,54	2,84	3,11
55	1,16	1,64	2,00	2,31	2,59	2,83	3,27	3,66	4,01
60	1,46	2,06	2,53	2,92	3,26	3,57	4,13	4,61	5,05
65	1,81	2,55	3,13	3,61	4,04	4,42	5,11	5,71	6,26
70	2,20	3,11	3,81	4,40	4,92	5,39	6,23	6,96	7,62
75	2,65	3,74	4,58	5,29	5,92	6,48	7,48	8,37	9,17
80	3,14	4,44	5,44	6,29	7,03	7,70	8,89	9,94	10,89
85	3,69	5,22	6,40	7,39	8,26	9,05	10,45	11,68	12,80
90	4,30	6,08	7,45	8,60	9,62	10,54	12,17	13,60	14,90
95	4,97	7,03	8,61	9,94	11,11	12,17	14,06	15,71	17,21
100	5,70	8,06	9,87	11,40	12,74	13,96	16,12	18,02	19,74
110	7,35	10,39	12,72	14,69	16,43	18,00	20,78	23,23	25,45
120	9,27	13,10	16,05	18,53	20,72	22,70	26,21	29,30	32,10
130	11,47	16,22	19,87	22,94	25,65	28,10	32,44	36,27	39,73
140	13,98	19,77	24,21	27,95	31,25	34,23	39,53	44,20	48,42
150	16,80	23,76	29,10	33,60	37,56	41,15	47,52	53,12	58,19

ANEXO 3 – TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE RALOS

Tabela A3 - Tabela para dimensionamento de ralos se ligados a ramais de descarga

Diâmetro do ramal de descarga (mm)	Área útil mínima do ralo (cm²)
40	8,38
50	13,09
60	18,85
70	25,66
80	33,51
90	42,41
100	52,36
110	63,36
120	75,40
130	88,49
140	102,63
150	117,81

Tabela A4 - Tabela para dimensionamento de ralos se ligados a tubos de queda

Diâmetro do tubo de queda (mm)	Área útil mínima do ralo (cm²)
50	29,45
60	42,41
70	57,73
80	75,40
90	95,43
100	117,81
125	184,08
150	265,07
175	360,79
200	471,24
250	736,31
300	1060,29

ANEXO 4 – EXPLICITAÇÃO DA FÓRMULA ADOTADA PELO REGULAMENTO PARA DIMENSIONAMENTO DE TUBOS DE QUEDA EM ORDEM AO DIÂMETRO

A expressão cedida pelo regulamento pode ser explicitada em ordem ao diâmetro como se mostra:

$$\begin{aligned}
 Q &= \left(\alpha + \beta \frac{H}{D} \right) \pi D H \sqrt{2gH} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow Q &= \alpha \pi D H \sqrt{2gH} + \beta \frac{H}{D} \pi D H \sqrt{2gH} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow Q &= \alpha \pi D H \sqrt{2gH} + \beta \pi H^2 \sqrt{2gH} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow \alpha \pi D H \sqrt{2gH} &= Q - \beta \pi H^2 \sqrt{2gH} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow D &= \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta \pi H^2 \sqrt{2gH}}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow D &= \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta H}{\alpha} \tag{41}
 \end{aligned}$$

ANEXO 5 – TABELAS PARA DIMENSIONAMENTO DE TUBOS DE QUEDA

Tabela A5 - Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligações a caleiras feita em aresta viva

Diâmetro (mm)	Diâmetro da maior caleira ligada (mm)					
	100	110	120	130	140	150
50	3,18	3,80	4,47	5,21	6,01	6,87
60	3,59	4,27	5,02	5,82	6,69	7,63
70	4,01	4,75	5,56	6,43	7,37	8,38
80	4,42	5,23	6,10	7,05	8,06	9,14
90	4,83	5,70	6,64	7,66	8,74	9,90
100	5,24	6,18	7,19	8,27	9,43	10,66
125	6,28	7,37	8,54	9,80	11,14	12,55
150	7,31	8,56	9,90	11,33	12,84	14,45
175	8,34	9,75	11,26	12,86	14,55	16,35
200	9,37	10,94	12,61	14,39	16,26	18,24
250	11,44	13,32	15,33	17,45	19,68	22,03
300	13,50	15,70	18,04	20,50	23,10	25,82

Tabela A6 - Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligações a caleiras em entrada cônica

Diâmetro (mm)	Diâmetro da maior caleira ligada (mm)					
	100	110	120	130	140	150
50	3,75	4,45	5,22	6,05	6,95	7,91
60	4,28	5,06	5,91	6,83	7,82	8,88
70	4,80	5,67	6,61	7,62	8,70	9,85
80	5,33	6,28	7,30	8,40	9,57	10,82
90	5,86	6,88	7,99	9,18	10,44	11,78
100	6,38	7,49	8,68	9,96	11,31	12,75
125	7,70	9,01	10,41	11,91	13,49	15,17
150	9,02	10,53	12,15	13,86	15,67	17,59
175	10,33	12,05	13,88	15,81	17,86	20,01
200	11,65	13,57	15,61	17,76	20,04	22,43
250	14,28	16,61	19,07	21,67	24,40	27,26
300	16,92	19,64	22,53	25,57	28,76	32,10

Tabela A7 - Valores de descarga regulamentares em l/s para tubos de queda com ligações a ramais de descarga

Diâmetro (mm)	Diâmetro do maior ramal de descarga ligado (mm)								
	50	60	70	80	90	100	125	150	175
50	6,25								
60	6,95	9,85							
70	7,66	10,78	14,49						
80	8,36	11,71	15,65	20,23					
90	9,07	12,63	16,82	21,65	27,15				
100	9,77	13,56	17,99	23,08	28,86	35,34			
125	11,53	15,88	20,91	26,65	33,11	40,32	61,73		
150	13,29	18,19	23,83	30,21	37,37	45,30	68,69	97,37	
175	15,06	20,51	26,74	33,78	41,62	50,29	75,66	106,53	143,16
200	16,82	22,82	29,66	37,34	45,88	55,27	82,62	115,68	154,69
250	20,34	27,46	35,50	44,48	54,39	65,24	96,55	134,00	177,77
300	23,87	32,09	41,34	51,61	62,90	75,20	110,48	152,31	200,84

ANEXO 6 – DEDUÇÃO DA DIFERENÇA NA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE TUBOS DE QUEDA CONSOANTE O TIPO DE LIGAÇÃO ÀS CALEIRAS E/OU ALGEROZES

A diferença pode ser calculada de acordo com a expressão:

$$Diferença = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} \quad (42)$$

Sendo, Q_1 e Q_2 os caudais máximos transportáveis ao abrigo do regulamento quer a ligação seja feita em entrada cónica ou em aresta viva, respectivamente. Para esta dedução é válida apenas quando $H = 0,35D$. Assim,

$$Diferença = \frac{\left(\alpha_1 + \beta \frac{H}{D}\right) \pi D H \sqrt{2gH} - \left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right) \pi D H \sqrt{2gH}}{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right) \pi D H \sqrt{2gH}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Diferença = \frac{\left(\alpha_1 + \beta \frac{H}{D}\right) - \left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)}{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Diferença = \frac{\left(\alpha_1 + \beta \frac{H}{D}\right)}{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)} - \frac{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)}{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Diferença = \frac{\left(\alpha_1 + \beta \frac{H}{D}\right)}{\left(\alpha_2 + \beta \frac{H}{D}\right)} - 1$$

Substituindo,

$$\alpha_1 = 0,578$$

$$\alpha_2 = 0,453$$

$$b = 0,350$$

$$H = 0,35D$$

vem que,

$$\Leftrightarrow Diferença = \frac{\left(0,578 + 0,350 \frac{0,35D}{D}\right)}{\left(0,453 + 0,350 \frac{0,35D}{D}\right)} - 1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Diferença \approx 0,2172 \approx 21,72\%$$

ANEXO 7 – TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE COLETORES PREDIAIS

Tabela A8 - Capacidades máximas regulamentares em l/s de coletores prediais em PVC para diferentes diâmetros e inclinações

PVC Km=120 Diâmetro (mm)	Inclinação							
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%	4,0%
100	5,70	8,06	9,87	11,40	12,74	13,96	15,08	16,12
110	7,35	10,39	12,72	14,69	16,43	18,00	19,44	20,78
120	9,27	13,10	16,05	18,53	20,72	22,70	24,51	26,21
125	10,33	14,61	17,89	20,66	23,10	25,31	27,33	29,22
130	11,47	16,22	19,87	22,94	25,65	28,10	30,35	32,44
140	13,98	19,77	24,21	27,95	31,25	34,23	36,98	39,53
150	16,80	23,76	29,10	33,60	37,56	41,15	44,45	47,52
160	19,95	28,22	34,56	39,91	44,62	48,88	52,79	56,44
170	23,46	33,17	40,63	46,91	52,45	57,45	62,06	66,34
180	27,32	38,63	47,32	54,64	61,08	66,91	72,28	77,27
190	31,55	44,62	54,65	63,11	70,56	77,29	83,48	89,25
200	36,18	51,17	62,66	72,36	80,90	88,62	95,72	102,33
220	46,65	65,97	80,80	93,30	104,31	114,27	123,42	131,94
240	58,83	83,20	101,90	117,66	131,55	144,11	155,65	166,40
260	72,83	103,00	126,15	145,66	162,85	178,40	192,69	206,00
280	88,74	125,50	153,71	177,49	198,44	217,38	234,79	251,01
300	106,67	150,85	184,76	213,34	238,52	261,29	282,22	301,71
350	160,90	227,55	278,69	321,81	359,79	394,13	425,71	455,10
400	229,73	324,88	397,90	459,45	513,68	562,71	607,80	649,76

ANEXO 8 – TABELA PARA DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS DE LIGAÇÃO

Tabela A9 - Capacidades máximas regulamentares em l/s para ramais de ligação em PVC para diferentes diâmetros e inclinações

PVC Km=120 Diâmetro (mm)	Inclinação							
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
125	14,6	20,7	25,3	29,2	32,7	35,8	38,7	41,3
150	23,8	33,6	41,1	47,5	53,1	58,2	62,9	67,2
175	35,8	50,7	62,1	71,7	80,1	87,8	94,8	101,4
200	51,2	72,4	88,6	102,3	114,4	125,3	135,4	144,7
225	70,0	99,1	121,3	140,1	156,6	171,6	185,3	198,1
250	92,8	131,2	160,7	185,5	207,4	227,2	245,4	262,4
275	119,6	169,2	207,2	239,2	267,5	293,0	316,5	338,3
300	150,9	213,3	261,3	301,7	337,3	369,5	399,1	426,7
325	186,7	264,1	323,5	373,5	417,6	457,4	494,1	528,2
350	227,6	321,8	394,1	455,1	508,8	557,4	602,0	643,6
375	273,5	386,8	473,7	547,0	611,6	670,0	723,7	773,6
400	324,9	459,5	562,7	649,8	726,5	795,8	859,6	918,9

ANEXO 9 – CORTES CONSTRUTIVOS DE APLICAÇÃO DO SISTEMA SIFÓNICO EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA

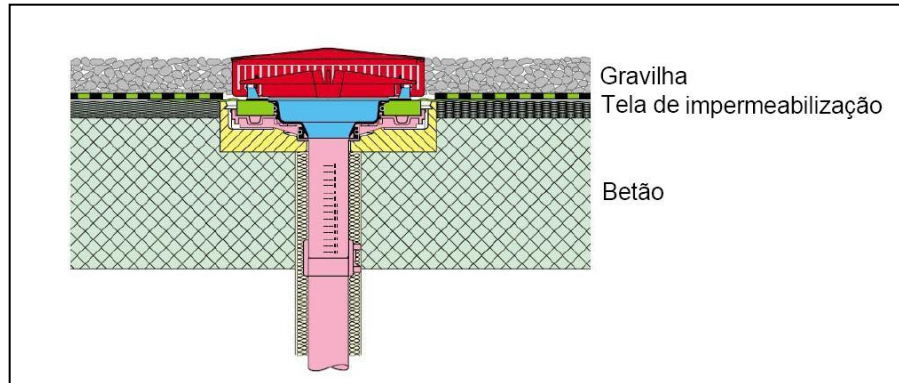


Fig. A2 - Aplicação em cobertura em betão[22]

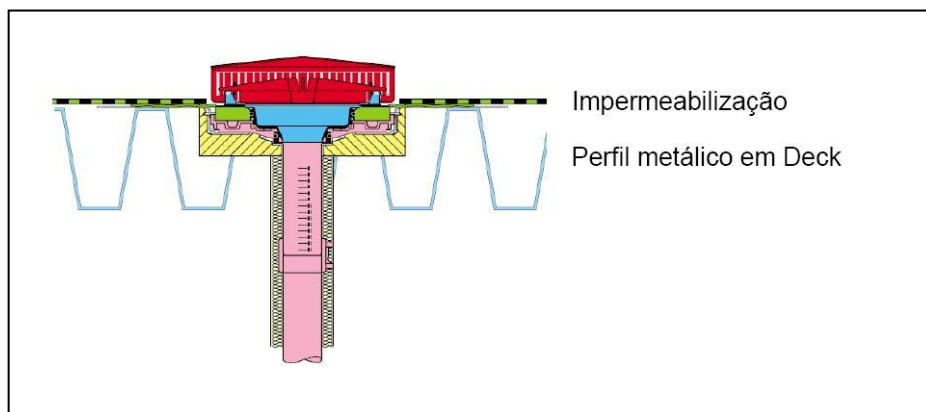


Fig. A3 - Aplicação em cobertura metálica[22]

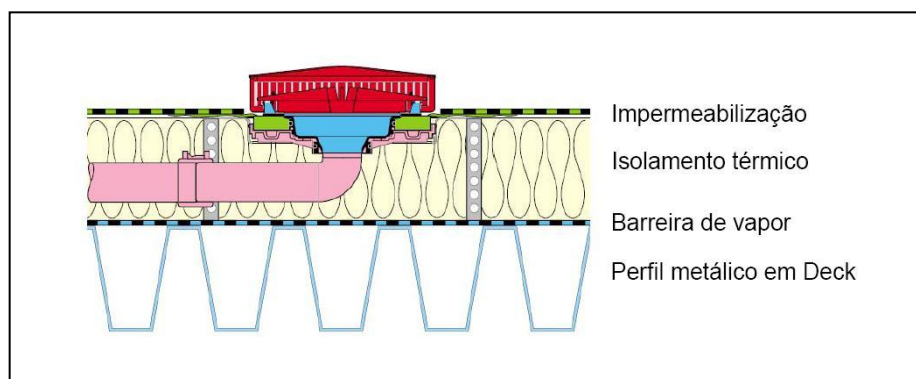


Fig. A4 - Aplicação em cobertura metálica com isolamento térmico[22]

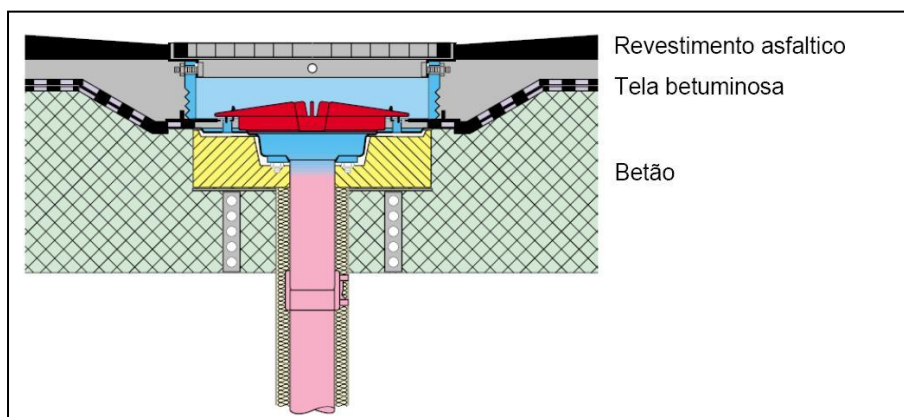


Fig. A5 - Aplicação em cobertura em betão acessível a automóveis[22]

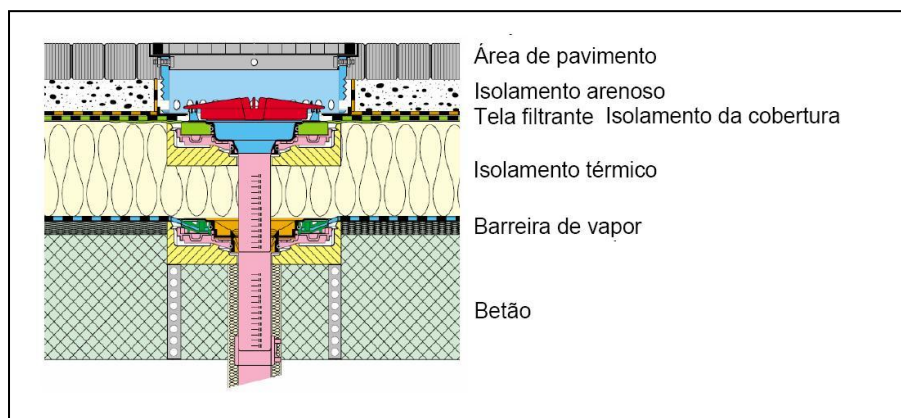


Fig. A6 - Aplicação em cobertura em betão acessível a pessoas[22]

Se porventura a densidade de vegetação for muito elevada e a camada de terra for espessa deve-se adotar uma estrutura de infiltração/proteção dos ralos à volta dos mesmos.

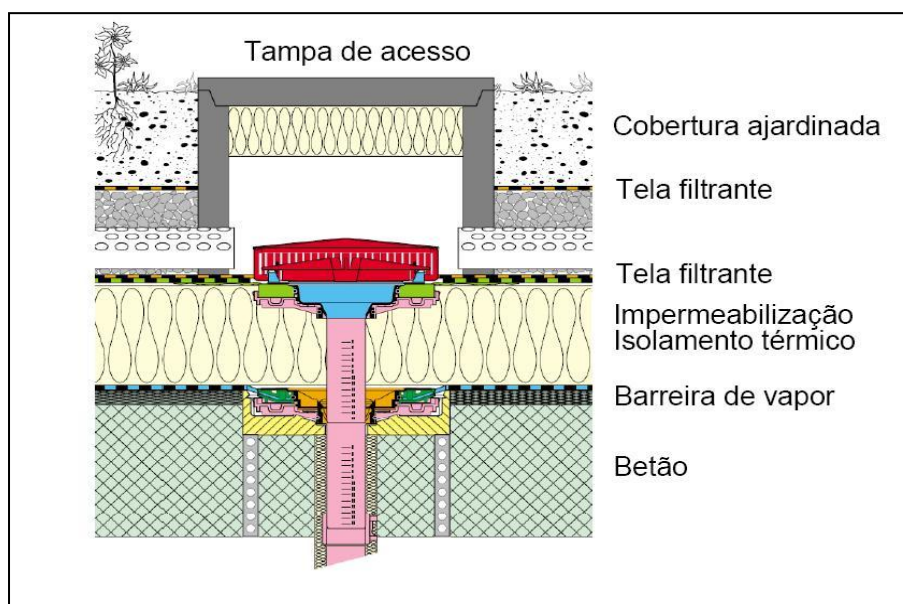


Fig. A8 - Proteção dos ralos para forte densidade de vegetação[22]

Tipos de junta

Os tipos de junta dependem do tipo de material utilizado. Embora existam vários tipos de juntas possíveis para outros sistemas de transporte nestes materiais, só alguns serão aptos para uso no sistema de drenagem em pressão. As juntas poderão ou não ser removíveis, mas todas as ligações exceto em ponto de juntas de dilatação deverão que ser resistentes a esforços de tração.

A junta flangeada é um tipo de junta aplicável a ambos os materiais. Para a execução de uma junta flangeada é interposto um anel de borracha nos extremos dos tubos. A estanqueidade está garantida através do esmagamento deste anel de borracha pelo aperto dos parafusos das flanges. É este o tipo de junta utilizado na transição para outros materiais.

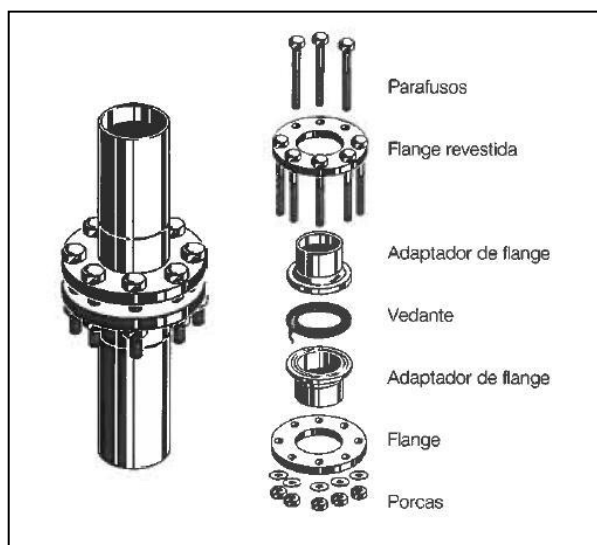


Fig. A9 – Junta flangeada e elementos constituintes[22]

As juntas de dilatação para PVC são acessórios com um encaixe de abocardamento comprido pelo qual o tubo abocardado se pode mover livremente na direção vertical. Um anel de borracha comprimido entre os dois tubos garante a estanqueidade.

A junta elástica baseia-se no mesmo princípio mas aplica-se a tubos em ferro fundido.

O PEAD pode ainda ser soldado. A soldadura pode ser do tipo topo a topo ou electro soldada. Na soldadura topo a topo aquecem-se os extremos dos tubos a ligar antes de serem pressionados diretamente, dispensando o recurso à inclusão de outros materiais. A soldadura pode ser feita manualmente para diâmetros até 75mm. A máquina de soldar por sua vez permite soldaduras de tubos com diâmetros até 160mm.



Fig. A10 - Soldadura topo a topo[22]

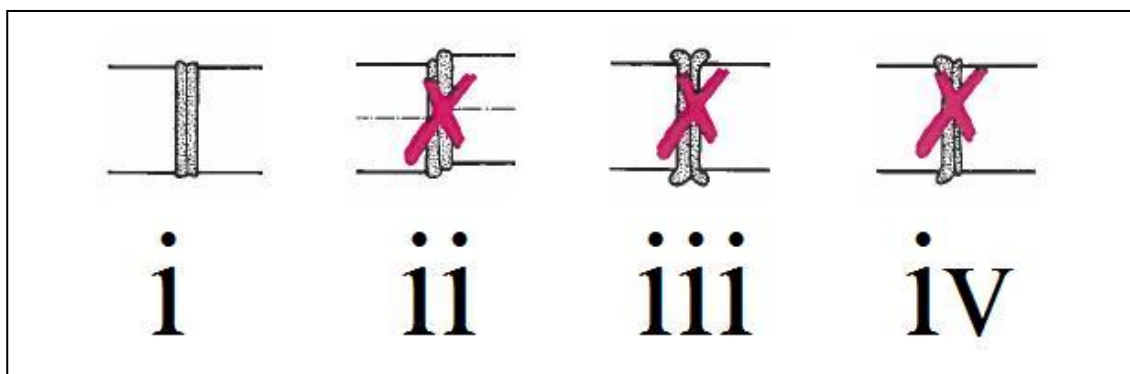


Fig. A11 - Verificação visual da eletrossoldadura. i - Correto; ii - Desalinhamento; iii - Demasiada pressão no início da soldadura; iv - Aquecimento desigual nos dois tubos[22]

Na junta electro soldada envolvem-se as extremidades dos tubos a ligar são cobertos por uma pequena manga atravessada por fios elétricos. Faz-se então circular uma corrente elétrica pelos fios que aquecem a manga solidarizando-a com os tubos. Este tipo de junta é útil para intervenções de reparação, expansões ou conversões das instalações.



Fig. A12 - União electro soldada[22]

AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE COM O PROJETO

Durante e após a fase de execução haverá que monitorar a conformidade do executado com o projeto devendo dar-se especial atenção aos pontos-chave:

- A zona afeta pela pluviosidade;

- A disposição dos ralos e sua correta montagem, assegurando que este está firmemente ligado à sua placa de montagem;
- Os diâmetros e traçados de todas as tubagens;
- A execução das juntas;
- A zona de descompressão;
- Todos os pontos de aberturas acessíveis para controle e manutenção;
- A haver conformidade entre os materiais projetados e efetivamente utilizados;
- A disposição correta dos sistemas de fixação e da sua própria fixação;
- A disposição correta e completa dos trop-plein de segurança.
- Todas as inconformidades deverão ser registadas e o seu impacto avaliado. Consoante o seu impacto tomar-se-ão ou não medidas corretivas.

ENTRADA EM FUNCIONAMENTO

É de máxima importância a garantia de que aquando da entrada em serviço do sistema que as coberturas estejam limpas e livres de detritos ou entulhos que possam perturbar as condições de escoamento ou entrar no sistema, danificando-o. Além disso todas as tubagens deverão ser lavadas por forma a eliminar quaisquer resíduos que pudessem ter entrado no sistema na fase de construção.

