



**JOÃO PEDRO MONIZ ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RAMAIS DE
SILVA BERNARDO DRENAGEM COM AUTOCLISMOS EFICIENTES**



**JOÃO PEDRO MONIZ
SILVA BERNARDO**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RAMAIS DE
DRENAGEM COM AUTOCLISMOS EFICIENTES**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação Científica do Professor Doutor Armando Silva Afonso, Professor Associado Convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

À memória do meu pai, à minha mãe e ao Gonçalo.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

vogal

Prof. Doutor Pedro Manuel Pinheiro Veloso Lopes Tavares
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra

vogal

Prof. Doutor Armando Baptista da Silva Afonso
Professor Associado Convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus pais e ao meu irmão, aos meus avós, à minha madrinha e ao Rodrigo, à família Cordeiro, em especial à Bela, à minha demais família e à família Lousada, pelo que constituíram uma fonte essencial de apoio, carinho e motivação ao longo deste percurso.

À Maria que se gerou como um pilar no meu sucesso académico, com o seu amor, força e paciência.

Aos meus amigos, Vera, Hugo, Bruno, Eduardo, Zé, Xerife, Camacho e Ventura, pelas aventuras e bons momentos proporcionados.

Ao Prof. Doutor Armando da Silva Afonso pela força, motivação e ensinamentos e à Eng. Carla Rodrigues pela ajuda.

À ANQIP pelo apoio e oportunidade facultada.

À Oliveira e Irmão SA que proporcionou a realização desta dissertação com a cedência de espaço e material. Um agradecimento também aos funcionários da empresa que participaram diretamente no projeto, em especial ao João Teles e ao Eng. Filipe.

palavras-chave

Drenagem, águas residuais, ramais de drenagem, eficiência hídrica, autoclismos de eficiência hídrica, transporte sólido.

resumo

A água potável é um bem essencial à vida que tem vindo a escassear e a sua conservação é por isso um imperativo para a humanidade. No ciclo hídrico predial, esta problemática tem sido solucionada com a adoção de medidas sustentáveis.

A sustentabilidade hídrica no ciclo predial visa reduções significativas no consumo de água através da utilização de dispositivos eficientes. No caso dos autoclismos, a água utilizada nas descargas pode representar mais de 30% do consumo de água de uma habitação. Com a adoção de autoclismos eficientes este consumo pode ser reduzido em mais de metade.

A redução do consumo de água nos dispositivos sanitários conduz, em geral, a baixos valores de caudal no escoamento para os sistemas de drenagem. Nos autoclismos essa redução tem posto em causa a eficácia no arrastamento de sólidos nos ramais.

Em termos regulamentares, a legislação nacional em vigor para dimensionamento das redes de drenagem predial, não contempla os baixos caudais dos dispositivos eficientes. As Normas Europeias encontram-se mais atualizadas neste domínio, impondo algumas restrições.

Este trabalho pretende dar um contributo para a atualização do Regulamento Geral Português e das Normas referentes ao dimensionamento de redes de drenagem, com a simulação prática de escoamentos em ramais de drenagem provocados por autoclismos eficientes.

keywords

Drainage, waste water, drainlines, water efficiency, water efficiency toilets, solid transport.

abstract

Potable water is an essential good to life that has been scarce and their conservation is therefore an imperative for humanity. In the building water cycle, this issue has been resolved with the adoption of sustainable measures. Water sustainability in a building cycle aims significant reductions in water consumption through the use of efficient devices. In the case of toilets, the water used in the discharges can represent more than 30% of water consumption of a building. With the adoption of efficient toilets this consumption can be reduced by more than half.

The reduction of water consumption in sanitary devices leads in general to low flow rates to the drainage systems. This reduction in the flushing cisterns has questioned the effectiveness of solids entrainment in drainlines.

In regulatory terms, the national legislation in effect for dimensioning of drainage networks building does not include the low flows of efficient devices, already European Standards are up to date, imposing some restrictions.

This work aims to contribute to the updating of the Portuguese Standards for dimensioning of drainage systems, with practical simulations of flow in the drainlines, caused by efficient flushing cisterns.

Índice

Símbolos e Acrónimos	xiii
1. Introdução	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia.....	2
1.4. Organização da dissertação.....	3
2. Estado da arte	5
2.1. Sustentabilidade hídrica no ciclo predial	5
2.1.1. Enquadramento	5
2.1.2. Avaliação da eficiência hídrica nos autoclismos	6
2.1.3. A eficácia dos autoclismos de baixo volume.....	7
2.1.4. Drenagem de autoclismos de baixo volume na redes de drenagem	8
2.2. Enquadramento regulamentar	12
2.2.1. Contexto do Decreto Regulamentar nº23/95	12
2.2.2. Contexto da Norma Europeia EN 12056-2.....	14
2.2.3. Contexto da Norma Europeia EN 997	17
2.2.4. Contexto da Norma Europeia EN 14055	18
2.3. Investigações de referência	19
2.3.1. Transporte de sólidos deformáveis nos sistemas de drenagem com volumes de descarga reduzidos.....	19
2.3.2. Performance dos autoclismos eficientes no transporte de resíduos no sistema de drenagem	21
2.3.3. Teste de performance do conjunto autoclismo-bacia (MaP)	23
2.3.4. Investigações - ASFlow	23
2.3.5. Investigações - PERC	24
3. Procedimento experimental.....	27
3.1. Caracterização dos ensaios	27
3.2. Equipamento de teste	27
3.2.1. Caracterização geral.....	27
3.2.2. Descrição das variáveis dependentes do sistema.....	29
3.2.3. Descrição das variáveis independentes do sistema.....	34

3.3.	Ensaio de conformidade	38
3.3.1.	Lavagem das paredes do vaso sanitário	38
3.3.2.	Evacuação do papel higiénico.....	39
3.3.3.	Descarga de cinquenta esferas de plástico	40
3.3.4.	Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga.....	41
3.3.5.	Outros ensaios de conformidade.....	44
3.4.	Ensaio de análise ao escoamento no ramal de drenagem.....	44
3.4.1.	Considerações gerais.....	44
3.4.2.	Procedimento de ensaio	45
4.	Análise dos resultados dos ensaios de conformidade	47
4.1.	Considerações gerais.....	47
4.2.	Resultados dos ensaios de conformidade.....	47
4.2.1.	Lavagem das paredes do vaso sanitário	47
4.2.2.	Evacuação do papel higiénico.....	48
4.2.3.	Descarga de cinquenta esferas de plástico	49
4.2.4.	Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga.....	50
4.3.	Comentários e conclusões.....	51
5.	Análise dos resultados dos ensaios de escoamento no ramal drenagem.....	55
5.1.	Considerações gerais.....	55
5.2.	Resultados dos ensaios de escoamento no ramal de drenagem	56
5.3.	Análise do processo de escoamento no ramal de drenagem	58
5.4.	Análise das distâncias percorridas no ramal de drenagem	65
5.4.1.	Análise da influência do volume de descarga e do diâmetro do ramal.....	65
5.4.2.	Análise da influência da inclinação	66
5.4.3.	Análise da influência do papel higiénico	68
5.4.4.	Análise do efeito da 2ª descarga	70
5.5.	Análise do caudal e velocidade média de escoamento no ramal	71
5.5.1.	Análise do caudal médio de escoamento no ramal	71
5.5.2.	Análise da velocidade média de escoamento no ramal.....	72
5.5.3.	Análise à influência do volume de descarga segundo a velocidade	74
5.5.4.	Análise à influência do diâmetro segundo a velocidade.....	75
5.6.	Comentários e conclusões.....	75

6. Considerações finais.....	78
6.1. Conclusões gerais	78
6.2. Propostas de trabalhos futuros	81
Referências bibliográficas	85
Anexos.....	89

Índice de figuras

Figura 1. Distribuição do consumo doméstico de água, de referência em Portugal (LNEC, 2001).....	6
Figura 2. Rede de drenagem com um ramal de drenagem com pouca extensão [(“FH06SEP_DRALIN_01,” n.d.)]	9
Figura 3. Rede de drenagem com ramal de drenagem extenso (a vermelho do lado esquerdo), com ligações e três mudanças de direção [(“FH12JAU_PLUBAT_03,” n.d.)]	10
Figura 4. Ramal de drenagem onde descarregam quatro autoclismos (Pedroso, 2000).....	11
Figura 5. Transporte dos sólidos deformáveis num ramal de descarga, com escoamento à superfície livre: Efeito das condições do escoamento ao redor do sólido e na velocidade do seu transporte (Swaffield & Mcdougall, 2006).....	20
Figura 6. Equipamento de teste. Sistema de drenagem	28
Figura 7. Equipamento de teste. Disposição final do sistema de drenagem.....	29
Figura 8. Autoclismo interior “Speed mecânico”, com dupla descarga e volume de descarga regulável, apoiado na estrutura “Simflex” (OLI, 2011)	30
Figura 9. Sanita “Keramag”, modelo “Renova nr.1 Plus Tiefspul – WC 4,5/6 l”	31
Figura 10. Rótulo com as características e certificação segundo a NP EN997, da sanita “Keramag”, modelo “Renova nr.1 Plus Tiefspul – WC 4,5/6 l”	32
Figura 11. Ramal de DN110 (esquerda) e ramal de DN90 (direita), em acrílico extrudido da Esacril	33
Figura 12. Suporte do ramal de drenagem, de altura variável para regulação da inclinação.....	33
Figura 13. Bitola para medição (mm) (esquerda), localização dos nós no provete (direita) (<i>NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado</i> , 2005)	35
Figura 14. Provete revestido com um tubo de gaze, com a configuração final do provete (<i>NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado</i> , 2005).....	36
Figura 15. Provetes tipo obtidos, para cada um dos conjuntos. A azul são os utilizados para o conjunto de 160 g e a verde para o conjunto 100 g (conjunto de 2 provetes)	36

Figura 16. Conjuntos de papel higiénico. À esquerda o conjunto de menor gramagem e à direita o de maior gramagem	37
Figura 17. Ensaio da lavagem das paredes do vaso sanitário	39
Figura 18. Folhas de papel higiénico para a realização do ensaio de evacuação do papel higiénico	40
Figura 19. Esferas para o ensaio de descarga de cinquenta esferas de plástico	41
Figura 20. Bitola para medição (mm) (esquerda), localização dos nós no provete (direita)(<i>NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado</i> , 2005)	42
Figura 21. Provete revestido com um tubo de gaze, com a configuração final do provete (<i>NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado</i> , 2005).....	43
Figura 22. Provete tipo obtido de acordo com a NP EN997	43
Figura 23. Lançamento dos provetes na sanita (à esquerda 100 g e à direita 160 g)	45
Figura 24. Resultados dos Ensaio da lavagem das paredes do vaso sanitário	48
Figura 25. Lançamento das folhas de papel no Ensaio de evacuação do papel higiénico... ..	48
Figura 26. Lançamento das esferas para Ensaio de descarga de cinquenta esferas de plástico.....	49
Figura 27. Lançamento dos provetes para o Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga.....	51
Figura 28. "Teste dos pontos" (Demiriz, 2008).....	53
Figura 29. Papel higiénico a formar uma superfície de impacto para a água na sanita antes da descarga	59
Figura 30. Disposição do aglomerado no ramal com o papel higiénico a montante.....	60
Figura 31. Disposição do aglomerado no ramal com o papel higiénico a jusante e a montante	61
Figura 32. Aglomerado depositado num ramal de DN110 (à esquerda) e num de DN90 (à direita).....	62
Figura 33. Altura da lâmina líquida a montante do aglomerado depositado no ramal de DN110	63
Figura 34. Altura da lâmina líquida a montante do aglomerado depositado no ramal de DN90	63

Figura 35. Sequência de refluxo no ramal de DN90	64
Figura 36. Deposição do aglomerado sólido no ramal, sem papel higiênico, antes da 2ª descarga	71
Figura 37. Deficiente união do ramal entre dois troços retilíneos deficiente ramal, entre dois troços retilíneos.....	76
Figura 38. Inversão da inclinação na secção de união entre dois troços retilíneos	76

Índice de gráficos

Gráfico 1. Distâncias percorridas (m) pelo aglomerado no ramal de DN110 segundo a inclinação (%).....	67
Gráfico 2. Distâncias percorridas (m) pelo aglomerado no ramal de DN90 segundo a inclinação (%).....	68
Gráfico 3. Variação do caudal médio do aglomerado (l/s) com a variação da inclinação do ramal (%).....	72
Gráfico 4. Variação da velocidade média do aglomerado (m/s) com a inclinação (%) do ramal de DN110	73
Gráfico 5. Variação da velocidade média do aglomerado (m/s) com a inclinação (%) no ramal de DN90	74

Índice de tabelas

Tabela 1. Categorias de eficiência atribuídas na certificação hídrica nos autoclismos (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008a)	7
Tabela 2 - ANEXO XIV do (DR-nº23/95, 1995) – Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente	13
Tabela 3. Diâmetros nominais (DN) e diâmetros interiores mínimos ($d_{i \text{ min}}$) correspondentes (<i>EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation</i> , 2000)	15
Tabela 4 - Unidades de descarga (DU) (l/s) nas bacias de retrete para diferentes volumes de água no autoclismo (<i>EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation</i> , 2000)	16
Tabela 5 - Variáveis estudadas nos testes realizados pela PERC (PERC, 2012)	25
Tabela 6. Variáveis dependentes do sistema de drenagem a experimentar	44
Tabela 7. Variáveis independentes ao sistema que serão experimentadas	45
Tabela 8. Resultado dos ensaios de descarga de cinquenta esferas de plástico para o volume de descarga de 6 l	49
Tabela 9. Resultado dos ensaios de descarga de cinquenta esferas de plástico para o volume de descarga de 4 l	50
Tabela 10. Média das distâncias percorridas pelos sólidos no ramal (m), para cada conjunto de volume de descarga (l) e diâmetro nominal (mm), para as quatro inclinações analisadas.....	65
Tabela 11. Redução na distância percorrida no ramal para os diferentes valores de DN e do volume de descarga	66
Tabela 12. Efeito dos diferentes tipos de papel higiénico no arrastamento dos sólidos.....	69
Tabela 13. Relação entre as velocidades dos volumes de descarga ensaiados no ramal de DN110 e de DN90	74
Tabela 14. Relação entre as velocidades para os diâmetros do ramal ensaiados aquando uma descarga de 6 l e 4 l.....	75

Símbolos e Acrónimos

- A – área da seção transversal (mm^2);
di – diâmetro interior (mm);
DN – diâmetro nominal (mm);
FF – ferro fundido;
 γ – peso específico do líquido (N/m^3);
i – inclinação;
Ks – coeficiente de rugosidade ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$);
PEAD – polietileno de alta densidade;
PP – polipropileno;
PVC – policloreto de vinilo;
Q – caudal de escoamento (l/s);
R – raio hidráulico (m);
U – velocidade de escoamento (m/s);
 τ – tensão média de arrastamento (N/m^2).

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A presente dissertação surge no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e visa dar um contributo para a sustentabilidade hídrica predial, com o estudo do escoamento em ramais de drenagem com autoclismos eficientes (baixo volume).

A preferência por esta temática foi motivada pela experiência curricular obtida ao longo do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, no domínio da hidráulica, nomeadamente nas vertentes de hidráulica urbana e predial.

A sustentabilidade assenta em princípios de gestão, com o objetivo fundamental em criar um equilíbrio entre o consumo e a produção. Na hidráulica predial, do ponto de vista do consumo de água, a sustentabilidade procura a poupança com a gestão não só dos recursos hídricos, mas também de recursos energéticos e financeiros (Gleick, 1998).

A água é um recurso que tem vindo a escassear e isto faz com que a sua utilização eficiente seja uma prioridade ambiental em todo o mundo. A nível da sustentabilidade do planeta torna-se fundamental o aumento da eficiência no uso da água (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2012a).

Atendendo que é cada vez mais indispensável a adoção de políticas sustentáveis, torna-se necessário verificar a eficácia dos novos dispositivos de poupança de água que surgem no mercado e proceder ao respetivo enquadramento face às Normas e Regulamentos existentes, que não se encontram devidamente atualizados em Portugal relativamente a estes dispositivos (Silva-Afonso, 2008).

Os autoclismos eficientes são “dispositivos sustentáveis” na medida em que controlam o consumo de água nos autoclismos e este controle tende à redução do consumo de água. Todavia, esta redução reflete-se no caudal de descarga dos dispositivos, que tende a reduzir o poder de transporte de sólidos no ramal. Torna-se assim necessário procurar as melhores condições no sistema de drenagem, para que estes escoamentos sejam realizados da melhor

forma, sem que haja retenção de sólidos no ramal (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2010a).

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo o estudo das alterações regulamentares a introduzir no dimensionamento de ramais de drenagem predial, em consequência da utilização de autoclismos sustentáveis. Neste contexto, pretende-se avaliar as características referentes aos diâmetros e inclinações dos ramais de drenagem, e a consequente relação com o volume de descarga dos referidos autoclismos, no arrastamento de sólidos no ramal.

1.3. Metodologia

A metodologia deste estudo centrou-se na análise experimental de simulações de escoamento com arrastamento de sólidos, provocado por autoclismos eficientes, num ramal de drenagem. Sendo este, um tipo de escoamento difícil de quantificar através de análises teóricas, o principal fator de quantificação do arrastamento foi a distância percorrida pelos sólidos no ramal. Analisou-se ainda a velocidade média e o caudal médio dos sólidos no escoamento no ramal.

Os ensaios de descarga foram realizados num sistema de drenagem, construído para o efeito, constituído por uma sanita onde descarrega um autoclismo eficiente com um volume de descarga regulável, que por sua vez se liga a um ramal com dois diâmetros possíveis que se relacionam com quatro inclinações.

Neste estudo agruparam-se dois conjuntos de variáveis, as que dependem do sistema de drenagem, já mencionadas, e as que não dependem, como a matéria que é lançada na sanita que é constituída pelo sólidos (matéria fecal) e pelo papel higiénico, para melhor se perceber a influência e relação com os elementos pertencentes ao sistema.

As características gerais do sistema de drenagem construído tiveram por base as leis em vigor em Portugal, nomeadamente o Decreto Regulamentar nº23/95, e a Norma Europeia EN 12056-2. Os ensaios foram realizados com provetes, para simular a matéria

fecal, análogos aos utilizados na EN 997 e na EN 14055, que também serviram de base aos ensaios de conformidade do autoclismo com a sanita.

Através dos resultados destes ensaios pretende-se estabelecer as devidas correlações entre as variáveis dependentes e independentes experimentadas.

1.4. Organização da dissertação

A organização desta dissertação respeita a cronologia das várias etapas envolvidas. Assim, o Capítulo 1 tem uma breve introdução acerca das considerações gerais, objetivos e metodologia utilizada.

O Capítulo 2 diz respeito à pesquisa do estado da arte, onde se retrata a temática da sustentabilidade hídrica e o respetivo enquadramento face à situação em Portugal e, nomeadamente, no ciclo hídrico predial. Faz-se ainda uma abordagem à legislação em vigor em Portugal e na Europa para o dimensionamento de redes prediais de drenagem, com foco para ramal de drenagem. O capítulo termina com a análise de vários estudos, realizados noutros países, que envolveram variáveis que interessavam para esta dissertação.

No Capítulo 3 faz-se a abordagem ao equipamento para a realização dos ensaios, com a caracterização do mesmo equipamento, dos ensaios que avaliam a performance do conjunto autoclismo – sanita e dos ensaios para a análise do escoamento no ramal de drenagem. Este capítulo inclui também a caracterização de todas as variáveis que se pretende avaliar nesta dissertação.

O Capítulo 4 apresenta as considerações, resultados e conclusões técnicas referentes aos ensaios realizados para a avaliação da performance dos conjuntos autoclismos – sanita utilizados.

O Capítulo 5, o mais importante no contexto da dissertação, aborda os resultados das experiências para a análise do escoamento no ramal de drenagem com autoclismos eficientes e os resultados, com a correlação das várias variáveis envolvidas.

No Capítulo 6 enumeram-se as conclusões gerais dos ensaios de análise do escoamento no ramal, de uma forma mais prática, tendo em vista a aplicação dos resultados em sistemas de drenagem predial e nos Regulamentos em vigor. Este Capítulo inclui ainda propostas de estudos futuros nesta área que, por diversas razões, não se puderam incluir no decorrer da componente prática desta dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Sustentabilidade hídrica no ciclo predial

2.1.1. Enquadramento

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência da humanidade no planeta. É segundo este que se rege um considerável número de políticas sociais, económicas e é, essencialmente, deste recurso de que depende a gestão dos ecossistemas (UNESCO, 2012).

A utilização da água não se destina apenas aos consumos do dia-a-dia, para fins alimentares ou de higiene, mas está na base de todos os bens materiais que utilizamos. A perceção da importância da água acresceu desde meados do século XX, com o crescimento exponencial da população mundial, com o ritmo frenético do desenvolvimento tecnológico e com as alterações das condições climáticas (UNESCO, 2012).

O stress e a escassez de água são problemas que virão a afetar a população mundial em poucos anos. Parte do território nacional não escapa a este cenário, pelo que se torna indispensável discutir novas medidas para um uso mais eficiente da água (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008a).

Na vertente da hidráulica predial já são vários os dispositivos que visam a poupança de água, podendo esse reconhecimento ser realizado através de uma certificação e rotulagem, à semelhança da energia. Em Portugal é a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) a responsável pela certificação e rotulagem da eficiência hídrica (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008b).

Os produtos certificados, além da poupança de água de interesse ambiental, são também importantes do ponto de vista económico, sendo que o investimento inicial é normalmente compensado a curto prazo nos custos de consumo da água (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2010a).

Os consumos domésticos de água de referência, em Portugal, utilizados na avaliação de medidas de eficiência, foram estimados pelo Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) e os resultados são os que se apresenta na Figura 1 (LNEC, 2001):

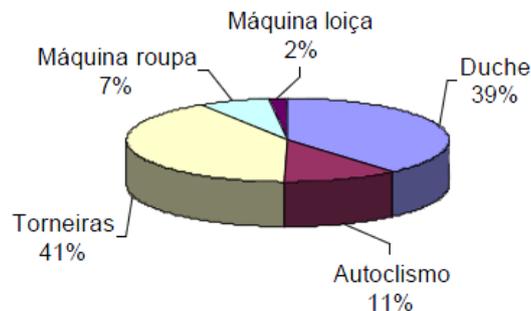


Figura 1. Distribuição do consumo doméstico de água, de referência em Portugal (LNEC, 2001)

No Reino Unido, há estudos que mostram que apenas o autoclismo pode representar cerca de 23% a 32% do consumo de água nos edifícios residenciais, sendo que nos edifícios comerciais o mesmo consumo ascende aos 60%, incluindo também autoclismos de urinóis (Swaffield & Mcdougall, 2006).

2.1.2. Avaliação da eficiência hídrica nos autoclismos

Em Portugal, a avaliação da eficiência hídrica nos autoclismos e noutros produtos hídricos é realizada através de uma certificação voluntária desde 2008, com a atribuição de rótulos categorizados (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2010a).

As categorias dos autoclismos são divididas por volume e tipo de descarga e variam desde de a classificação “A++”, o mais eficiente, até ao “E”, o menos eficiente. A categoria de referência é a “A”, pelo que as categorias “A+” e “A++” têm uma exigência diferente na performance, dado que devido ao reduzido caudal de descarga, requerem um dimensionamento adequado da rede de drenagem e adequação à bacia de retrete (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008a).

Os rótulos são aplicados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Categorias de eficiência atribuídas na certificação hídrica nos autoclismos (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008a)

Volume nominal (litros)	Tipo de descarga	Categoria de Eficiência Hídrica	Tolerância (Volume máximo – descarga completa)	Tolerância (Volume min. de descarga para poupança de água)
4,0	Dupla descarga	A++	4,0 – 4,5	2,0 – 3,0
5,0	Dupla descarga	A+	4,5 – 5,5	3,0 – 4,0
6,0	Dupla descarga	A	6,0 – 6,5	3,0 – 4,0
7,0	Dupla descarga	B	7,0 – 7,5	3,0 – 4,0
9,0	Dupla descarga	C	8,5 – 9,0	3,0 – 4,5
4,0	C/ interrup. de desc.	A+	4,0 – 4,5	-
5,0	C/ interrup. de desc.	A	4,5 – 5,5	-
6,0	C/ interrup. de desc.	B	6,0 – 6,5	-
7,0	C/ interrup. de desc.	C	7,0 – 7,5	-
9,0	C/ interrup. de desc.	D	8,5 – 9,0	-
4,0	Completa	A	4,0 – 4,5	-
5,0	Completa	B	4,5 – 5,5	-
6,0	Completa	C	6,0 – 6,5	-
7,0	Completa	D	7,0 – 7,5	-
9,0	Completa	E	4,5 – 9,0	-

Refira-se que os autoclismos mais eficientes possuem o sistema de dupla descarga, que permite escolher o volume de água que se pretende descarregar, havendo a possibilidade de se optar por meia descarga ou descarga completa. Os autoclismos com maior eficiência apresentam volumes de descarga de (descarga total/descarga parcial) 6/3 litros (l) e 4/2 l (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2012a).

2.1.3. A eficácia dos autoclismos de baixo volume

Os autoclismos e os produtos mais eficientes correspondem a um nível de consumo muito reduzido, que pode não ser aconselhável por questões de conforto, saúde pública e pelo desempenho dos produtos. Por isso, em vários países a eficácia de produtos sanitários sustentáveis é posta em causa (Silva-Afonso, 2008).

Os autoclismos eficientes, por drenarem um baixo caudal, têm sido alvo de discussão para se saber se realmente cumprem as suas funções relativamente ao completo arrastamento, no ramal de drenagem, dos resíduos sólidos (Silva-Afonso, 2008).

Desde a implementação de medidas sustentáveis nos autoclismos, têm-se elaborado vários inquéritos de satisfação a indivíduos que adquirem estes produtos para suas residências. Os resultados têm mostrado, em geral, uma satisfação em termos económicos

com a redução do consumo de água, mas a nível de performance do sistema as opiniões não têm sido concisas (Oliveira, 2007).

A adoção de modelos de 4/2 litros são os que têm gerado mais problemas, precisamente, no arrastamento de sólidos. Estudos recentes mostraram que este problema pode ser solucionado com a adoção de inclinações maiores no ramal de drenagem (Silva-Afonso, 2008), dentro de determinados limites.

Contudo, são vários os parâmetros que poderão influenciar o escoamento, estando alguns relacionados entre si. O correto dimensionamento do ramal de drenagem, atendendo ao escoamento por autoclismos eficientes, dependerá também, por exemplo, do diâmetro do tubo e do volume de descarga (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2012b).

2.1.4. Drenagem de autoclismos de baixo volume na redes de drenagem

Grande parte da tubagem existente que se destina a receber águas residuais, dado o baixo caudal de descarga de dispositivos eficientes, tende a ficar sobredimensionada (Schlunke, Lewis, & Fane, 2008).

No ciclo hídrico predial, o ramal de descarga é um elemento que pode dificultar a alteração de autoclismos antigos, com elevado volume de descarga, por novos autoclismos eficientes. Em Portugal, o diâmetro DN110, que é por vezes usado para esse fim, pode não ser adequado para um bom escoamento após uma descarga sanitária (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2008a).

Algumas investigações recentes apontam que diâmetros de calibre inferior aos utilizados atualmente nos ramais de descarga são mais eficazes na remoção dos sólidos do ramal. Estes diâmetros são da ordem de DN90 e DN100 (Gormley & Campbell, 2006).

Associado o volume de descarga de uma bacia de retrete à dimensão do ramal, sabe-se que um volume de 6 l, face a maiores diâmetros, deverá realizar um bom escoamento, caso as inclinações do ramal sejam superiores a 1% (“Cloning human behaviour,” 2006).

A inclinação do ramal surge como outro obstáculo, não só aquando da substituição dos autoclismos, mas também na implementação em novas redes de drenagem. A inclinação mínima recomendada por algumas normas estrangeiras estipula 1,65% como o

mínimo de inclinação para que o ramal possa receber água de dispositivos com baixo caudal (“Low-flush toilets need a new approach,” 2008).

Um bom sistema de drenagem é o ponto de partida para a poupança de água num edifício. O traçado do sistema de drenagem pode, em muitos casos, ser determinante no desempenho de escoamentos com sólidos (“Good system design saves more than water,” 2007).

A execução do traçado dos sistemas de drenagem que incluem uma sanita deverá prever a existência da drenagem de outros dispositivos que poderá influenciar o funcionamento do ramal, caso esse não seja individual. Os casos em que o ramal de descarga é individual o traçado do sistema torna-se muito mais simples, bem como a própria análise aos fenómenos que daí vão resultar (“Low-flush toilets need a new approach,” 2008).

O projeto de arquitetura dos edifícios em alguns casos simplifica o traçado da rede de drenagem. Exemplo disto é a Figura 2 que ilustra a ligação de um ramal de drenagem com pouca extensão a um tubo de queda do edifício.

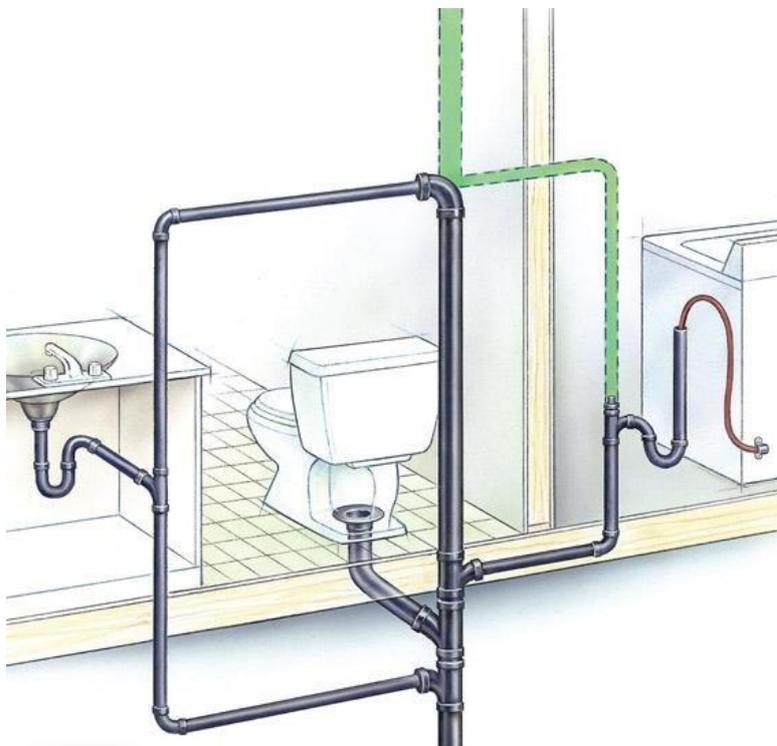


Figura 2. Rede de drenagem com um ramal de drenagem com pouca extensão

[("FH06SEP_DRALIN_01," n.d.)]

Pelo contrário, mas não só devido à arquitetura, é necessário por vezes recorrer a traçados de redes de drenagem mais complexos onde vai aumentar o comprimento do ramal e o número de curvas e possíveis ligações ao ramal, deixando este de ser não individual. Nestes casos, em que hajam outras ligações ao ramal de drenagem, ou quando o ramal de drenagem se liga a outro tubo na horizontal, estas ligações devem ser feitas preferencialmente em curvas de 45° (“Low-flush toilets need a new approach,” 2008).

A Figura 3 exemplifica um sistema de drenagem (a vermelho), com ventilação (a verde), que termina num tubo coletor predial. O ramal de ligação deste sistema é relativamente extenso, tem três curvas e tem ligações com tubos de drenagem de outros dispositivos.

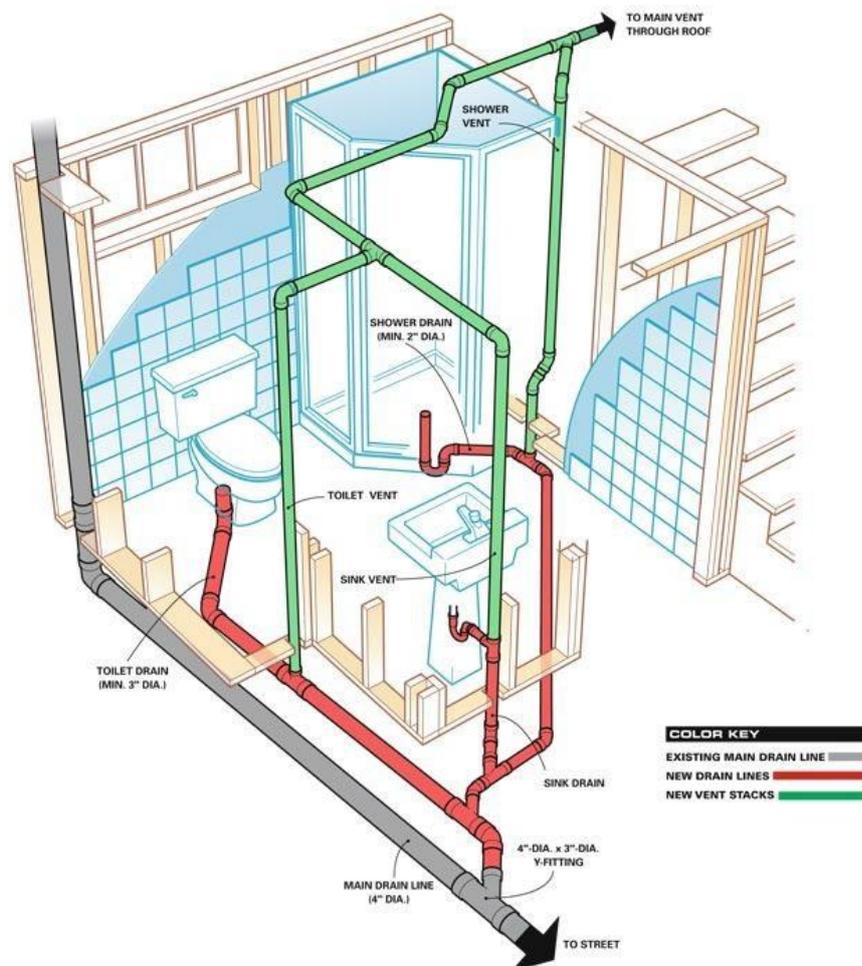


Figura 3. Rede de drenagem com ramal de drenagem extenso (a vermelho do lado esquerdo), com ligações e três mudanças de direção [(“FH12JAU_PLUBAT_03,” n.d.)]

A análise do efeito do escoamento é mais difícil, quando a configuração da rede de drenagem ou o próprio ramal de drenagem admite vários autoclismos de bacia de retrete. Este é um caso comum nos locais públicos, onde um único ramal recebe o escoamento de várias bacias (Gormley, 2011).

Na Figura 4, é ilustrado um ramal de drenagem ventilado que recebe o escoamento proveniente de quatro sanitas. Além da configuração saliente-se a extensão do ramal e o traçado da rede entre a saída da bacia de retrete (sanita), com ligações de 45°, até ao ramal de drenagem horizontal.

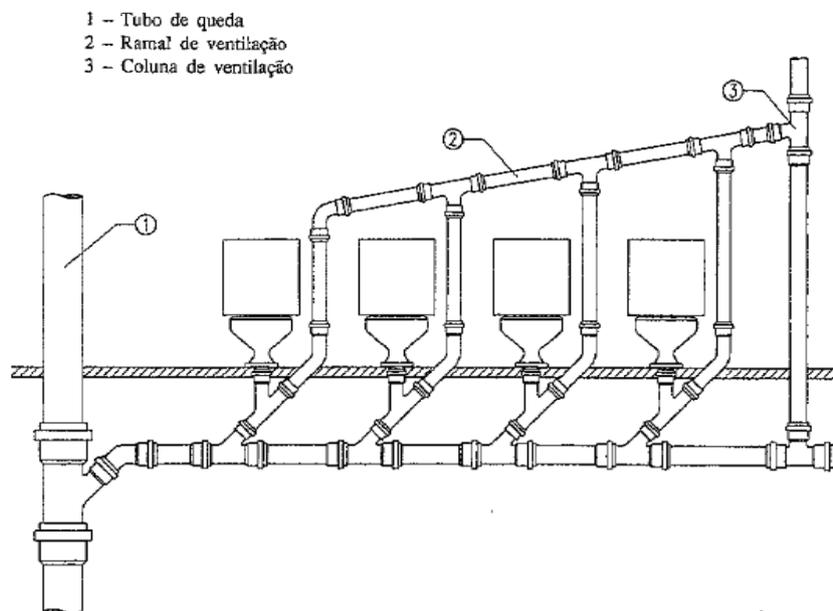


Figura 4. Ramal de drenagem onde descarregam quatro autoclismos (Pedroso, 2000)

Atenda-se à ligação de entrada, de um escoamento na vertical proveniente da bacia de retrete, para o ramal de drenagem, que pode ser realizada segundo uma ligação de 90° ou 45°. Cada um destes dois tipos de ligações podem, em alguns casos, influenciar o escoamento no ramal (Cheng, He, Liao, Hsieh, & Liu, 2011).

2.2. Enquadramento regulamentar

2.2.1. Contexto do Decreto Regulamentar nº23/95

Em Portugal, é o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR – Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto), atualmente em revisão, que dispõe dos princípios gerais para a conceção de redes de drenagem de águas residuais.

Os principais elementos em análise nesta dissertação são os ramais de descarga das águas residuais, provenientes da bacia de retrete, que têm como objetivo a condução destas águas para os tubos de queda ou, se não existirem, para os coletores prediais. O atual regulamento, estabelecido muito antes do lançamento em Portugal dos modelos de autoclismos mais eficientes, não considera a utilização destes equipamentos no dimensionamento das redes (RGSPDADAR, 1995).

O RGSPDADAR estabelece, para o dimensionamento dos ramais de descarga de águas residuais domésticas, os caudais de descarga para cada aparelho sanitário e os coeficientes de simultaneidade. Interessa para esta dissertação o caudal de descarga da bacia de retrete e o diâmetro do ramal associado, visto que a análise focar-se-á apenas num ramal de descarga individual, dado que o Regulamento impõe que os ramais das águas das bacias de retrete e as águas de sabão devam ser independentes nos casos habituais (sem ventilação secundária).

A Tabela 2 refere os diâmetros nominais mínimos admitidos nos ramais de descarga individuais para os aparelhos sanitários, dispostos no ANEXO XIV deste regulamento. (RGSPDADAR, 1995)

Tabela 2 - ANEXO XIV do (DR-nº23/95, 1995) – Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente

ANEXO XIV

Caudais de descarga dos aparelhos e equipamentos sanitários e características geométricas de ramais de descarga e sifões a considerar em aparelhos de utilização mais corrente.

Aparelho	Caudal de descarga (l/min.)	Ramal de descarga (milímetros)	Sifão	
			Diâmetro mínimo (milímetros)	Fecho hídrico (milímetros)
Bacia de retrete	90	90	(1)	50
Banheira	60	40	30	
Bidé	30	40	30	
Chuveiro	30	40	30	
Lavatório	30	40	30	
Máquina lava-louça	60	50	40	
Máquina lava-roupa	60	50	40	
Mictório de espaldar	90	75	60	
Mictório suspenso	60	50	(a)	
Pia lava-louça	30	50	40	
Tanque	60	50	30	
Máquinas industriais e outros aparelhos não especificados.	Em conformidade com as indicações do fabricante.			

(a) Sifão incorporado no próprio aparelho.

No dimensionamento dos ramais deve-se ter em conta os caudais de cálculo, as inclinações que devem se situar no intervalo entre 10 a 40 mm/m e a rugosidade do material que constitui o ramal deverá ter um coeficiente de rugosidade, K_s , entre 90 a 100 $m^{1/3}/s$. Devem-se atender aos riscos de perda do fecho hídrico e à seção do ramal, que não deve diminuir a jusante. O Regulamento refere ainda que o troço vertical dos ramais de descarga não deve exceder os 2 m e que o traçado dos mesmos deverá ser executado por troços retilíneos (RGSPDADAR, 1995).

Quanto aos materiais das canalizações, segundo o RGSPDADAR, os ramais de descarga poderão ser em PVC rígido, FF ou outros que reúnam as necessárias condições de utilização, como o PP e o PEAD (RGSPDADAR, 1995).

O dimensionamento hidráulico-sanitário pode ser realizado segundo duas verificações (Marques & Sousa, 2011):

- Verificação do poder de transporte ou capacidade de arrastamento;
- Verificação de condições de velocidade de escoamento e de lâmina líquida.

O Regulamento atual impõe a verificação das condições de velocidade como principal fator de dimensionamento, para que os sistemas de drenagem tenham um funcionamento eficaz a nível hidráulico e sanitário (RGSPDADAR, 1995).

Dado que o tema desta dissertação se reporta ao escoamento com autoclismos eficientes, importa focar a análise das condições de capacidade de arrastamento, sendo que é esta a questão que suscita as dúvidas relativamente ao funcionamento destes produtos. Contudo, a verificação a nível das condições de velocidade não pode ser posta de parte, pois a redução dos caudais, nos autoclismos eficientes, terá consequências também na redução da velocidade que por sua vez condicionará o arrastamento dos resíduos sólidos.

A capacidade de arrastamento é medida pela tensão média de arrastamento que é definida por (Marques & Sousa, 2011):

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot i \quad (1)$$

Onde:

τ – tensão média de arrastamento (N/m^2);

γ – peso específico do líquido (N/m^3);

R – raio hidráulico (m);

i – inclinação do coletor.

Por este critério a verificação é realizada comparando o valor da tensão média de arrastamento com o da tensão crítica. O arrastamento é feito em boas condições caso o valor da primeira tensão seja maior que a segunda. No caso dos coletores domésticos, por exemplo, é usual admitir um valor mínimo de tensão 2 N/m^2 ao material transportado (Marques & Sousa, 2011).

2.2.2. Contexto da Norma Europeia EN 12056-2

A Norma Europeia EN 12056-2 é a segunda parte da Norma que se refere aos sistemas de drenagem predial e esta impõe as condições de traçado e dimensionamento das redes de drenagem. Em relação ao Regulamento Geral Português esta Norma apresenta algumas divergências.

É de referir as diferenças entre os diâmetros de cálculo das tubagens e os diâmetros comerciais. Para anular estas diferenças foi estabelecida uma relação, entre o diâmetro nominal (DN) e o diâmetro interior mínimo ($d_{i\ min}$) considerado nesta Norma, que consta na Tabela 3 (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation, 2000*):

Tabela 3. Diâmetros nominais (DN) e diâmetros interiores mínimos ($d_{i\ min}$) correspondentes (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation, 2000*)

Diâmetro nominal (DN) (mm)	Diâmetro interior mínimo ($d_{i\ min}$) (mm)
30	26
40	34
50	44
56	49
60	56
70	68
80	75
90	79
100	96
125	113
150	146
200	184
225	207
250	230
300	290

Em relação à conceção dos sistemas de drenagem, a Norma define 24 soluções básicas definidas por 4 sistemas que assumem várias configurações a nível da ventilação dos ramais de descarga e dos tubos de queda. Estes sistemas são divididos da seguinte forma (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation, 2000*):

- Sistema I – Sistema com um único tudo de queda (para águas negras e cinzentas), com escoamento a meia secção nos ramais de descarga;
- Sistema II – Sistema com um único tudo de queda, com altura de lâmina líquida até 0,7 do diâmetro nos ramais de descarga;
- Sistema III – Sistema com um único tudo de queda, com escoamento a secção cheia nos ramais de descarga e lição individual de cada ramal ao tubo de queda;

- Sistema IV – Sistema com dois tubos de queda (águas negras e águas cinzentas), podendo corresponder, no que se refere aos ramais, a qualquer um dos sistemas anteriores.

Em Portugal será adotada em princípio a conceção relativa ao sistema I, que conjugada com as opções de ventilação do tubo de queda, permite obter-se 12 configurações diferentes. É de notar que o Regulamento Geral Português considera só 8 entre as várias soluções básicas (Silva-Afonso, 2001).

O método de dimensionamento imposto na NP EN 12056-2 é aplicado apenas a sistemas de drenagem de águas residuais domésticas. O mesmo baseia-se na atribuição de uma “unidade de descarga” (DU) a cada aparelho sanitário (Valsir, 2009).

No caso particular dos autoclismos, os valores de referência são os que estão no Tabela 4 (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000):

Tabela 4 - Unidades de descarga (DU) (l/s) nas bacias de retrete para diferentes volumes de água no autoclismo (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000)

Aparelhos sanitário	DU (Sistema I) (l/s)	DU (Sistema II) (l/s)	DU (Sistema III) (l/s)	DU (Sistema IV) (l/s)	Caudais de descarga (Reg. Geral) (l/s)
Bacia de retrete com cisterna (4 l)	- ^a	1,8	- ^a	- ^a	1,5 ^c
Bacia de retrete com cisterna (6 l)	2,0	1,8	1,2 a 1,7 ^b	2,0	1,5 ^c
Bacia de retrete com cisterna (7,5 l)	2,0	1,8	1,4 a 1,8 ^b	2,0	1,5 ^c
Bacia de retrete com cisterna (9 l)	2,5	2,0	1,6 a 2,0 ^b	2,0	1,5 ^c

^a – O Regulamento Português faz depender o valor do tipo de mictório e não da solução de descarga

^b – Depende do modelo (válido apenas para cisternas não pressurizadas)

^c – O Regulamento Português não faz depender o valor do volume da cisterna

Saliente-se que a NP EN 12056-2 não permite, em princípio, a adoção de autoclismos de 4 litros em redes prediais dimensionadas de acordo com o chamado Sistema I da Norma, que é precisamente o sistema proposto para Portugal. Contudo, no âmbito da presente dissertação, pretende-se precisamente avaliar as condições em que eventualmente poderão ser utilizados estes autoclismos com o Sistema I em Portugal, através do estabelecimento de condicionantes no dimensionamento (Silva-Afonso, 2001).

Em alternativa, será necessário recorrer às condições impostas por outro sistema. Tome-se como exemplo o Sistema II. Este sistema é adotado na Alemanha e é precisamente o que tem verificado uma melhor eficácia na capacidade de arrastamento de resíduos sólidos nos ramais, provocados pela utilização de autoclismos de baixo caudal (Silva-Afonso, 2001).

O dimensionamento é elaborado com o recurso a tabelas onde está associado um determinado diâmetro nominal (DN) ao respetivo caudal máximo. Este dimensionamento é realizado de forma diferente para ramais ventilados e não ventilados, sendo que os ventilados apresentam caudais máximos maiores e respetivos diâmetros menores, em relação aos não ventilados (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000).

As limitações de dimensionamento nos ramais não ventilados são maiores em relação aos ventilados. Visto que a ventilação não interfere diretamente com as condições de escoamento (Gauley & Koeller, 2005), interessa nesta investigação assumir as condições mais desfavoráveis.

Assim, deve-se impor, como limitação decorrente da Norma, um comprimento máximo do ramal, sem ventilação, de 10 m e a existência de apenas uma curva de 90°, não incluindo a primeira curva a seguir ao sifão. A inclinação mínima e a altura do troço máximo serão as impostas pelo Regulamento Português (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000).

2.2.3. Contexto da Norma Europeia EN 997

A Norma Europeia EN 997 é referente às sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado.

A Norma tem como objetivo garantir as especificações para o funcionamento destes equipamentos e para tal é atribuída uma classificação que se baseia nos métodos de teste de modo a averiguar o desempenho dos mesmos (*NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado*, 2005).

A classificação dos dispositivos é feita por classes. A Classe 1 diz respeito aos equipamentos sanitários, de acordo com o disposto no Capítulo 5 da Norma, que usem um volume nominal de descarga de 4 l, 5 l, 6 l, 7 l, ou 9 l. A Classe 2 respeita os

equipamentos, de acordo com o disposto no Capítulo 6 da Norma, que usem uma máxima descarga de 6 l, ou uma dupla descarga que combine a máxima descarga de 6 l e uma descarga reduzida que não seja maior do que $2/3$ da descarga máxima (*NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado*, 2005).

São de reter desta Norma algumas considerações relativas aos procedimentos dos testes considerados, que se baseiam fundamentalmente nas considerações acerca dos volumes de descarga dos dispositivos.

Refira-se que no Anexo E desta Norma constam as especificações e o processo de realização dos provetes de ensaio que serviram para os ensaios de conformidade e para simular a matéria sólida arrastada no ramal de drenagem.

2.2.4. Contexto da Norma Europeia EN 14055

A performance do conjunto autoclismo-bacia baseia-se no cumprimento de Normas Europeias relativas aos aparelhos que, no caso dos autoclismos, é a EN 14055, pelo que a certificação de eficiência hídrica ANQIP pressupõe o cumprimento da normalização existente relativa à performance do conjunto (Pimentel-Rodrigues & Silva-Afonso, 2010b).

Esta Norma tem como referência a EN 997, pelo que as classes de classificação dos produtos distinguem-se da mesma forma.

A Classe 1 diz respeito aos equipamentos sanitários, de acordo com o disposto nos Capítulos 5 e 7 da Norma, que usem um volume nominal de descarga de 4 l, 5 l, 6 l, 7 l, ou 9 l (*EN 14055:2010 - WC flushing cisterns*, 2010).

A Classe 2 respeita os equipamentos, de acordo com o disposto nos Capítulos 6 e 7 da Norma, que usem um máxima descarga de 6 l, ou uma dupla descarga que combine a máxima descarga de 6 l e uma descarga reduzida que não seja maior do que $2/3$ da descarga máxima (*EN 14055:2010 - WC flushing cisterns*, 2010).

2.3. Investigações de referência

2.3.1. Transporte de sólidos deformáveis nos sistemas de drenagem com volumes de descarga reduzidos

Na Europa, no início da década de 90, J. A. Swaffield e J. A. McDougall, dedicaram-se ao estudo do escoamento e do comportamento dos sólidos no ramal de drenagem, com descargas de volume reduzido. Um relatório apresentado pelo House of Commons Environment Committee, em 1996, identificou a bacia de retrete como a maior responsável no uso de água numa habitação e, a partir desse relatório, em 1999, alguns regulamentos começaram a admitir um volume máximo de descarga de 6 l, com um sistema de dupla descarga que não excedesse 2/3 do volume total (Swaffield & McDougall, 2006).

Os autores supracitados apresentam posteriormente outros resultados e soluções, nomeadamente com o projeto “The transport of deformable solids at low flush volumes within building drainage networks” (Swaffield, 2009).

Segundo o último projeto demonstraram que, o transporte de sólidos a jusante da bacia de retrete apresenta 3 zonas distintas: zona 1, onde a alta velocidade do sólido depende da sua posição na descarga na bacia de retrete; zona 2, normalmente 2 a 4 m à frente, no ramal, onde as forças de atrito geram uma desaceleração dos sólidos; e finalmente a zona 3, onde o movimento do sólido é controlado por forças hidrostáticas provenientes da água detida atrás deles. Esta última zona pode-se estender por alguma distância. Contudo, pode ocorrer deposição imediata dos sólidos, devido à passagem por uma junção ou conexão que interrompa a ação de arrastamento (Swaffield & McDougall, 2006).

Estes estudos vieram comprovar que o movimento de sólidos deformáveis em tubagens entre DN 80 e DN 150, se caracterizam pelo fato de estes tomarem a forma da secção transversal do tubo, que resulta num represamento da água atrás dos sólidos mas também na passagem de alguma água na envolvente deles. Assim, à medida que ocorre a desaceleração dos sólidos, num caso onde não haja bloqueio da secção, tanto a profundidade do fluxo atrás deles, quanto o fluxo que passa pelos sólidos diminui. Esta sequência onde a diferença entre as velocidades da água e do sólido é máxima é ilustrada na Figura 5 (Swaffield & McDougall, 2006).

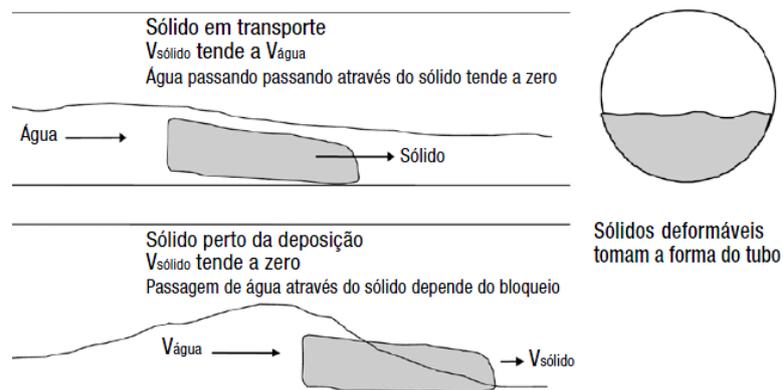


Figura 5. Transporte dos sólidos deformáveis num ramal de descarga, com escoamento à superfície livre: Efeito das condições do escoamento ao redor do sólido e na velocidade do seu transporte (Swaffield & Mcdougall, 2006)

De modo a simular estes cenários, desenvolveram uma técnica de cálculo da velocidade do sólido em função do escoamento circundante e dos parâmetros do ramal, e um modelo matemático com base no Método das Características, no qual se admitiu um diâmetro padrão nos sólidos de 38 mm e uma altura de descarga de 1,05 m (Swaffield & Mcdougall, 2006).

Esta investigação incidiu também na modelagem do transporte de papel higiênico em sistema de descarga dupla, com base no modelo matemático apresentado anteriormente. Os resultados obtidos referem-se a 3 autoclismos de 6 l com dupla descarga, num ramal com um DN 100 e uma inclinação de 2%. Verificou-se que, em todos os casos, um volume de descarga de 6 l é suficiente para transportar o papel por 16 m (Swaffield & Mcdougall, 2006).

Contudo, comprovou-se que a eficácia na drenagem de um volume mais baixo de descarga depende do comprimento do papel higiênico utilizado. O volume menor de descarga do sistema conseguiu transportar o papel com comprimento equivalente a 4 folhas de papel higiênico, mas os restantes comprimentos testados (até 32 folhas) necessitaram de uma segunda descarga para esvaziar o ramal (Swaffield & Mcdougall, 2006).

Através de todos os resultados obtidos, ficou comprovado que o uso do sistema de dupla descarga é aceitável no que diz respeito à remoção de papel no ramal, para distâncias superiores a 8 m e para comprimentos razoáveis de papel higiênico, e que uma segunda descarga tem a capacidade para a limpeza do restante papel no ramal. Porém, na prática, a eficiência de uma segunda descarga pode ser reduzida se o ramal passar por um período de

secagem, potencializado por um ambiente aquecido ou pela pouca utilização dos sistemas (Swaffield & Mcdougall, 2006).

2.3.2. Performance dos autoclismos eficientes no transporte de resíduos no sistema de drenagem

A proibição da venda e instalação de modelos de autoclismos com volumes de 13 l e 20 l, nos E.U.A. e Canada, fez com que recorresse ao uso de autoclismos mais eficientes. Face a este cenário, levantaram-se muitas dúvidas em relação ao funcionamento dos novos autoclismos, nomeadamente nos de 6 l, e à sua capacidade em relação ao transporte dos resíduos sólidos no ramal de drenagem (Gauley & Koeller, 2005).

Deste modo, em Abril de 2005, Bill Gauley e John Koeller, com a contribuição da “Canada Mortgage and Housing Corporation Project” (CMHC), apresentaram um relatório intitulado “Evolution of water-efficient toilet technologies to carry in drain lines” que teve como objetivo analisar a eficácia dos autoclismos eficientes no transporte de matéria sólida sob condições laboratoriais, face às Normas adotadas pelos respetivos países.

Para o efeito, foi construído um equipamento de teste, que pretende simular um sistema de descarga com um ramal de 24,4 m, de modo a avaliar a influência de várias variáveis, sob dois cenários de instalação e utilização das redes de drenagem, um que representa uma boa instalação e outro com uma má instalação onde o ramal de drenagem serve mais dispositivos (Gauley & Koeller, 2005).

Os resultados desta experiência, para cada uma das variáveis testadas, foram (Gauley & Koeller, 2005):

- Tipo de descarga: foram testados tipos de descarga, por gravidade, por vácuo e assistida por pressão, aplicados a vários aparelhos que constituíram no total 9 descargas diferentes pelo sistema e respetivo volume de água. Para analisar a influência do tipo de descarga, comparou-se a distância de arrastamento no ramal de todos os modelos. Esta análise mostrou uma modesta relação entre a velocidade da água após a saída da bacia de retrete e o arrastamento no ramal de drenagem e verificou-se a supremacia do sistema a gravidade, em relação ao sistema por pressão, no arrastamento de sólidos, para os mesmos volumes de água;

- Volume de descarga: os modelos testados incluíam volumes de 6 l e 3,8 l. Como seria de prever os autoclismos com um maior volume de descarga obtiveram uma maior distância de arrastamento dos sólidos no ramal;
- Inclinação do ramal de drenagem: as inclinações do ramal variaram entre os 0% e os 2%. Os resultados mostraram uma relação positiva (entre 0% e 2%) entre a inclinação e o arrastamento. A distância maior medida com inclinação 0% foi aproximadamente 6 m e com 2% foi 22 m;
- Diâmetro do ramal de drenagem: os diâmetros considerados foram DN 80 e DN 100. A avaliação da inclinação incluiu já estes dois diâmetros, pelo que se verificou que para a mesma inclinação o ramal constituído por tubagem DN 80 obteve maiores distâncias no arrastamento. Verificou-se ainda que as distâncias de arrastamento foram cerca de 50% maiores no ramal de DN 80 do que no de DN100;
- Altura, na vertical, do ramal de drenagem à saída da sanita: as alturas avaliadas foram 150 mm e 900 mm. Nesta verificação conclui-se que uma maior altura produz uma maior turbulência à entrada do troço horizontal, sendo o arrastamento maior quanto mais alto for o troço vertical. Contudo esta diferença é muito reduzida e foi considerada insignificante;
- Peso do material descarregado: o material a descarregar foi realizado com pasta de soja e modelado com o objetivo de se aproximar a dejetos humanos. O peso de referência nos ensaios, em geral, foi 200 g. A análise da variação do peso concluiu que a distância do arrastamento decresce em média 1,5 m por cada 100 g de material;
- Segunda descarga: os resultados mostraram que o efeito de uma segunda descarga, sem sólidos, arrasta mais 65% dos sólidos ainda retidos no ramal;
- Ventilação: foram realizados testes para ramais ventilados e não ventilado e não foi obtida nenhuma relação entre tipo de ventilação e o arrastamento de sólidos no ramal.

Em suma, foram retiradas duas grandes conclusões decorrentes do estudo em autoclismos eficientes, impostas as condições que mais nenhum outro dispositivo descarrega no ramal e que a amostra considerada corresponde a 200 g de material sólido. Atendendo a um DN 80 e a uma inclinação de 2% no ramal, que se assimila à generalidade das instalações nas habitações que respeitam essas Normas, a distância de arrastamento situou-se entre os 16 m e 27 m, dependendo do tipo de descarga. Segundo um DN 100 e a

uma inclinação de 1% no ramal, que representa a generalidade das instalações nos edifícios industriais que respeitam essas Normas, a distância de arrastamento situou-se entre os 6 m e 10,5 m, dependendo do tipo de descarga (Gauley & Koeller, 2005).

2.3.3. Teste de performance do conjunto autoclismo-bacia (MaP)

O “Maximum performance” (MaP) é um projeto em parte relacionado com o “Evaluation of water-efficient toilet technologies to carry waste in drain lines”, apresentado anteriormente, ambos são da mesma autoria e usam conceitos similares na realização dos testes.

Contudo, o MaP surgiu devido à falta de certificação face aos novos autoclismos eficientes e tem como objetivo verificar a eficácia de uma descarga, provocada por um autoclismo eficiente com um resíduo sólido com pelo menos 250 g e com um quantidade papel higiénico conforme as Normas (“Cloning human behaviour,” 2006).

A eficácia de descarga medida aqui não considera o arrastamento no ramal, mas os relatórios apresentados, como resultados das certificações, contêm indicações relevantes do ponto de vista comparativo face às certificações realizadas em Portugal para estes aparelhos sanitários (Gauley & Koeller, 2009).

2.3.4. Investigações - ASFlow

O “Australasian Scientific Review of Reduction of Flows on Plumbing and Drainage Systems” (ASFlow) é um projeto que conduz uma serie de pesquisas acerca dos impactos, nos sistemas de drenagem, de volumes de descargas reduzidos, do comportamento no sistema face a ligações ao ramal (curvas na rede a 90° e a 45°) e do efeito dos diferentes tipos de papel higiénico (Cummings, n.d.).

As pesquisas no ASFlow são lideradas pelo Dr. Steve Cummings, vice-presidente e investigador na associação e gerente da Caroma, a empresa líder mundial no fabrico de aparelhos sanitários com medidas de eficiência. Esta empresa possui o maior laboratório para testes de análise do escoamento nos sistemas de drenagem, cujo ramal que chega a medir 60 m (“Testing times ‘Down under’,” 2007).

Estes projetos, realizados no ramal referido com tubagem de DN 80 e DN 100, permitiram ao Dr. Steve Cummings provar várias teorias. Em relação à capacidade de arrastamento do papel higiénico por autoclismos sustentáveis, onde foram testados 22 tipos de papel, verificou-se que o papel tem um grande impacto no transporte, no ramal, dos dejetos humanos, pois quanto maior for a resistência do papel, menor será a distancia transportada (Cummings, n.d.).

As experiências em ramais de drenagem com ligações de 90° foi também analisada e rapidamente se conclui que este tipo de ligação constituía um problema no transporte da matéria sólida e em alternativa deviam-se adotar ligações de 45° na tubagem. É de realçar que estes testes contemplam autoclismos de descarga dupla de 4.5/3 l (“Testing times ‘Down under’,” 2007).

Em termos gerais, estas investigações evidenciaram duas necessidades fundamentais. A primeira que visa a revisão no traçado e dimensionamento dos sistemas de drenagem atuais, nomeadamente nos ramais de descarga, que devem ser adaptados às exigências impostas pelos aparelhos sustentáveis. A segunda sugere uma urgência numa revisão da legislação aplicável, nos respetivos países, aos sistemas de drenagem predial (“Testing times ‘Down under’,” 2007).

2.3.5. Investigações - PERC

A “Plumbing Efficiency Research Coalition” (PERC) é uma organização que se dedica à investigação da eficiência hídrica nos aparelhos sanitários e, em Novembro de 2012, apresentou um estudo: “The drainline transport of solid waste in buildings”, para avaliar o transporte dos sólidos no ramal de drenagem em edifícios, o qual contou com a colaboração de organizações e investigadores citados nos estudos anteriores, nomeadamente com o ASFlow (PERC, 2012).

O estudo realizou-se nas instalações da Caroma, recorrendo ao ramal de drenagem com um comprimento de 60 m.

As variáveis testadas constam na Tabela 5 (PERC, 2012):

Tabela 5 - Variáveis estudadas nos testes realizados pela PERC (PERC, 2012)

DN (mm)	100			
Inclinação (%)	1		2	
Volume de descarga (l)	6/1,6	4,8/1,3		3/0,8
Velocidade de descarga (m/s)	3,5		2,5	
Percentagem da água escoada com os sólidos (%)	75		25	
Papel higiênico	Mais espesso		Menos espesso	
Resíduos sólidos (pasta de soja) (g)	300	200	100	0

Através dos resultados obtidos foram retidas importantes conclusões no que respeita à ordem das variáveis testadas, face à sua influência no transporte de sólidos no interior dos sistemas de drenagem. Assim, verificou-se que as variáveis mais significantes, por ordem crescente, são o volume de descarga, a quantidade e espessura do papel higiênico e a percentagem de água escoada com os sólidos (PERC, 2012).

As variáveis menos influentes, por ordem decrescente de influência, são a percentagem do volume de água que escoou a jusante ou a montante dos sólidos e a velocidade da água na descarga para a sanita (PERC, 2012).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. Caracterização dos ensaios

Os ensaios para a análise do escoamento no ramal foram realizados após se verificar a compatibilidade entre o autoclismo com dois volumes de descarga e a sanita, através de ensaios para o efeito de acordo com a NP EN 997, sendo que a performance do autoclismo estava assegurada, de acordo com a EN 14055.

Apesar dos ensaios de compatibilidade não estarem diretamente relacionados com este estudo, considerou-se que uma cuidada análise ao processo de limpeza na sanita seria importante para a análise correlativa entre as variáveis que se pretendeu ensaiar.

Estando a compatibilidade do conjunto assegurada, os ensaios de escoamento no ramal realizaram-se com o lançamento de um conjunto de provetes para a sanita e, após um tempo de espera, era acionado o autoclismo e o conjunto de provetes seguia para o ramal de drenagem. Após a entrada no ramal, ou a saída dos provetes da sanita pelo sifão, era medida a distância percorrida, o tempo de paragem ou o tempo até percorrer o ramal, para calcular, conseqüentemente, a velocidade média e o caudal do conjunto de provetes de aglomerado sólido.

3.2. Equipamento de teste

3.2.1. Caracterização geral

O equipamento de teste construído foi projetado com base nas normas já referidas, nomeadamente, no RGSPDADAR e na EN 12056-2. O projeto deste modelo de teste, que visa a representação de um sistema de drenagem com um autoclismo eficiente, é constituído por um autoclismo de descarga dupla, com dois volumes de descarga total e parcial, por uma sanita, que se apoia numa mesa e aonde se liga o ramal de drenagem individual, não ventilado, apoiado em suportes com altura variável para provocar

diferentes inclinações. O sistema de drenagem tem ainda um ramal de drenagem cujo diâmetro pode ser alterado, bem como o comprimento, que deverá ter um mínimo de 10 m, foi projetado como esquematizado na Figura 6.

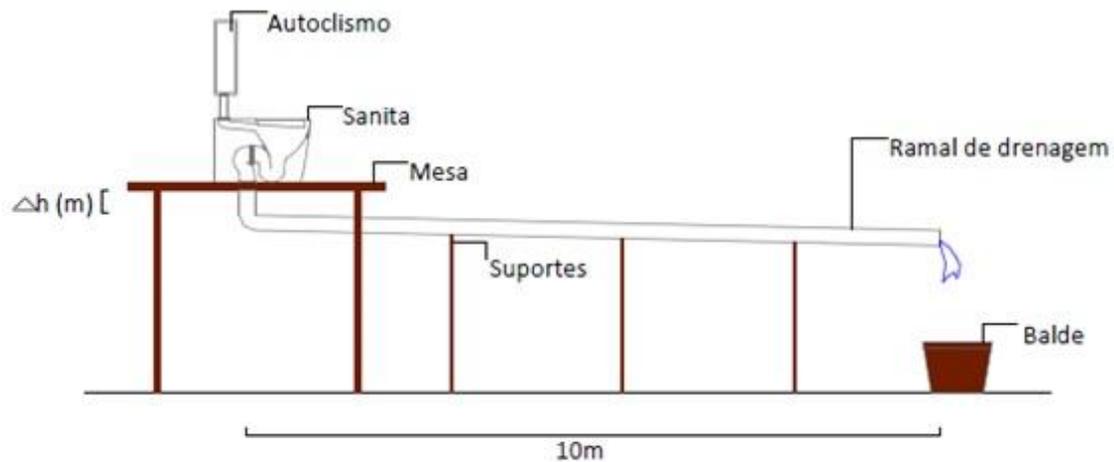


Figura 6. Equipamento de teste. Sistema de drenagem

Deste sistema utilizou-se para os ensaios de conformidade apenas o autoclismo e a sanita.

Em relação aos ensaios de escoamento no ramal, selecionaram-se dois tipos de variáveis, as dependentes ao sistema de drenagem, como o diâmetro do ramal (DN 90 e DN110), o volume de descarga do autoclismo (6 l e 4 l) e a inclinação do ramal (1%, 2%, 3% e 4%), e o segundo conjunto, o das variáveis independentes, que não dependem do sistema de drenagem, mas que intervêm no processo, que são os provetes sólidos que simulam a matéria fecal (100 g e 160 g) e o papel higiênico (maior gramagem, menor gramagem e sem papel).

A disposição final, após a construção e montagem do sistema de drenagem, é ilustrada na Figura 7.



Figura 7. Equipamento de teste. Disposição final do sistema de drenagem

3.2.2. Descrição das variáveis dependentes do sistema

3.2.2.1. Autoclismo

O autoclismo utilizado foi um autoclismo interior “Speed mecânico” de descarga dupla da Oliveira & Irmão, com volume de descarga regulável. Este autoclismo foi suspenso com a estrutura “Simflex”, do mesmo fabricante, que também deu suporte à sanita suspensa.

Em termos de eficiência deste autoclismo, estando regulado para um volume de (descarga completa/descarga parcial) 6/3,5 l, respeita a classe de eficiência A e estando regulando para um volume de descarga de 4/2 l, respeita a classe de eficiência A++, atribuída pela ANQIP.

De acordo com o fabricante, este autoclismo verifica os requisitos de conformidade para os autoclismos de acordo com a EN 14055, com um caudal de descarga de 2,5 l/s (OLI, 2011). O autoclismo e a estrutura referidos são ilustrados na Figura 8.



Figura 8. Autoclismo interior “Speed mecânico”, com dupla descarga e volume de descarga regulável, apoiado na estrutura “Simflex” (OLI, 2011)

3.2.2.2. Sanita

Face à limitação de recursos neste trabalho, recorreu-se a sanitas de testes, disponíveis no local de ensaios, na fábrica da OLI, pois esta empresa não produz peças sanitárias em cerâmica. Apesar de, numa primeira instancia, isto se poder traduzir num problema, a seleção da sanita acabou por constituir um aspeto muito importante nas experiências, no que diz respeito aos ensaios de conformidade, dado que, como se irá verificar no resultado desses ensaios, foi isto que permitiu concluir que uma boa limpeza na bacia tende a um melhor escoamento no ramal.

Na fase inicial destas experiências foi disponibilizada uma sanita cujas características e fabricantes se desconhecem e ao proceder-se aos ensaios de conformidade percebeu-se que a sanita não estaria em conformidade com o autoclismo. Foi assim que se procurou outra sanita que fosse minimamente conforme, pois, admitindo uma compatibilidade inferior, estar-se-ia do lado da segurança aquando da comparação de resultados face a outros conjuntos de sanita e autoclismo eficiente com melhor performance.

A sanita utilizada foi uma sanita suspensa, da marca “Keramag”, modelo “Renova nr.1 Plus Tiefspul – WC 4,5/6 l” e apresenta o rótulo de certificação, nos ensaios de conformidade com autoclismos, de acordo com a NP EN 997. Este rótulo de certificação atribui a conformidade à sanita no uso de autoclismos com descargas de 4,5 l e 6 l.

O rótulo indica que a utilização da sanita com autoclismos de volume abaixo de 4,5 l poderá ter problemas na limpeza da sanita que terá consequências no respetivo escoamento no ramal, como é o caso da utilização desta sanita com o autoclismo em causa quando regulado para uma descarga de 4 l.

A sanita utilizada nas experiências está ilustrada na Figura 9 e as respetivas características e rótulo de certificação na Figura 10.



Figura 9. Sanita “Keramag”, modelo “Renova nr.1 Plus Tiefspul – WC 4,5/6 l”

De notar que a certificação de eficiência hídrica da ANQIP não abrange bacias, mas apenas os autoclismos, pois são os dispositivos de consumo de “interface” com a rede predial.



Figura 10. Rótulo com as características e certificação segundo a NP EN997, da sanita “Keramag”, modelo “Renova nr.1 Plus Tiefspul – WC 4,5/6 l”

3.2.2.3. Ramal de drenagem (diâmetro e inclinação)

Os principais requisitos para o ramal de drenagem foram o comprimento, que deveria ter um mínimo de 10 m, que corresponde à maior distância admitida na NP EN 12056-2 sem ventilação, o material em que é executado, que deverá ser um coeficiente de rugosidade, K_s , entre 90 a 100 $m^{1/3}/s$, e o diâmetro nominal utilizado correntemente, que é de DN110 ou DN90.

Face a estes requisitos, utilizou-se um ramal de acrílico extrudido da “Esacril”, com uma extensão total de 10,5 m para um DN110 e de 10,3 m para um DN90. Apesar de não ser o material mais indicado para aplicação nos ramais, por ser dispendioso, possui propriedades (rugosidades) muito semelhantes ao PVC, material muito recorrente na execução de ramais de descarga em Portugal.

Outro aspeto importante nas características do ramal prendia-se com o facto de se querer visualizar o seu interior, pelo que se procurou uma tubagem incolor e transparente para uma melhor análise do processo de escoamento no mesmo.

Os tamanhos de tubagem utilizados estão representado na Figura 11 vendo-se o ramal de DN110 à esquerda e o de DN90 à direita.



Figura 11. Ramal de DN110 (esquerda) e ramal de DN90 (direita), em acrílico extrudido da Esacril

Cada uma destas tubagens relacionou-se com outra variável, a inclinação, que se fixou em 1, 2, 3 e 4%. Os tubos eram constituídos por troços de 2 m e o ramal foi então unido com anilhas, o que facilitou o sistema de regulação da inclinação que foi feita com suportes (Figura 12), que permitiam mobilidade no eixo vertical. No decorrer das experiências colou-se uma fita métrica ao tubo para facilitar a medição das distâncias e amarrrou-se um cordel paralelamente ao ramal de modo a regular a inclinação.



Figura 12. Suporte do ramal de drenagem, de altura variável para regulação da inclinação

3.2.3. Descrição das variáveis independentes do sistema

Na realização de ensaios de eficiência de descarga e de ensaios de análise do escoamento de sólidos no ramal de drenagem, é importante testar com provetes similares à matéria fecal. Contudo, como não é fácil simular essa matéria, deverão aproximar-se os provetes o quanto possível, que devem ser preferencialmente constituídos por matéria orgânica (“Cloning human behaviour,” 2006).

Com o intuito de se pretender uma representação real, numa utilização da sanitária, fez-se uma breve análise ao tipo de matéria fecal e ao papel higiénico que escoam no ramal.

3.2.3.1. Matéria fecal artificial

A matéria fecal, lançada na sanita, tem características muito variáveis. Apesar de não se poder obter uma generalização do peso, volume ou deformabilidade, estas características aproximam-se consoante a dieta e estilos de vida das populações (“Cloning human behaviour,” 2006).

Os estudos disponíveis nesta matéria focam-se predominantemente em grupos de indivíduos doentes, pelo que a generalização para grupos de indivíduos saudáveis é relativamente vaga.

Contudo, verificou-se que a matéria fecal, expulsa por um indivíduo saudável, não tende a ser superior, em média, a 200 g em cada 24 horas e que a maior parte destas fezes que constituem um maior obstáculo na passagem no sifão e no ramal, são de forma cilíndrica com um tamanho também muito variável (Wyman, Heaton, Manning, & Wicks, 1978).

Posta a dificuldade em conseguir provetes de matéria orgânica, o material utilizado para simular as fezes, teve por base os provetes utilizados nos ensaios de conformidade da NP EN 997. As limitações devidas à conformidade do conjunto autoclismo – sanita também influenciaram, posteriormente, as características dos provetes.

Os provetes foram executados, com gelatina em vez da água, para possuírem maior consistência, de modo a se obter conjuntos de 100 g e 160 g de peso, com densidades de

1,2 e 1,5 g/cm³, que perfazem volumes de aproximadamente 40 cm³ e 53 cm³, respetivamente (Figura 13).

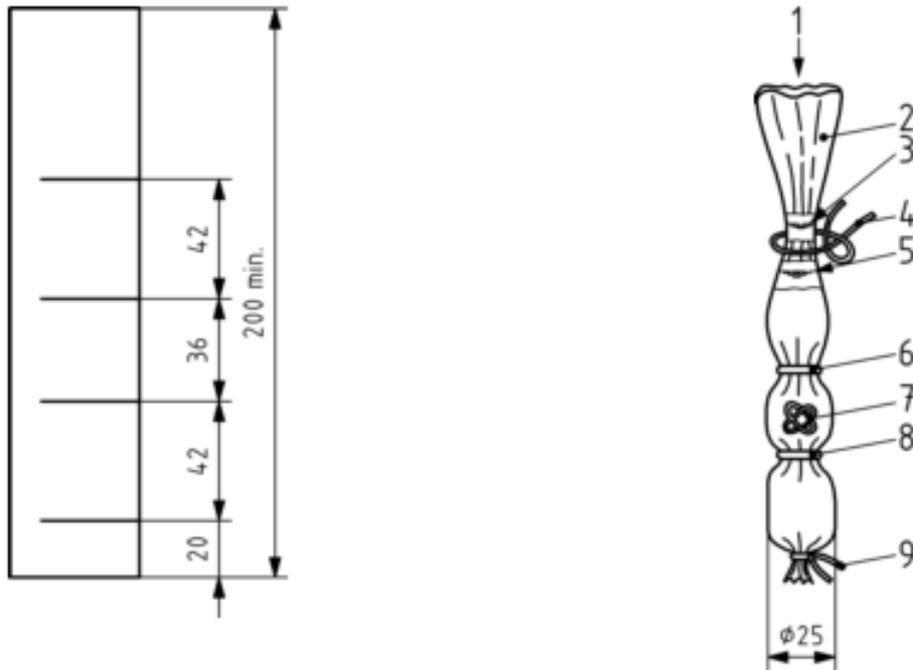


Figura 13. Bitola para medição (mm) (esquerda), localização dos nós no provete (direita) (NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado, 2005)

Legenda:

- 1- 40 ml de gelatina
- 2- Tripa sintética
- 3- Nível de água, depois de feito o nó
- 4- Fio
- 5- Nível de água, antes de feito o nó
- 6- Chumbo
- 7- Anel detetor metálico
- 8- Retentor
- 9- Fio

A configuração final, com as dimensões em milímetros aproximadas, que deverá ter cada provete é representada na Figura 14.

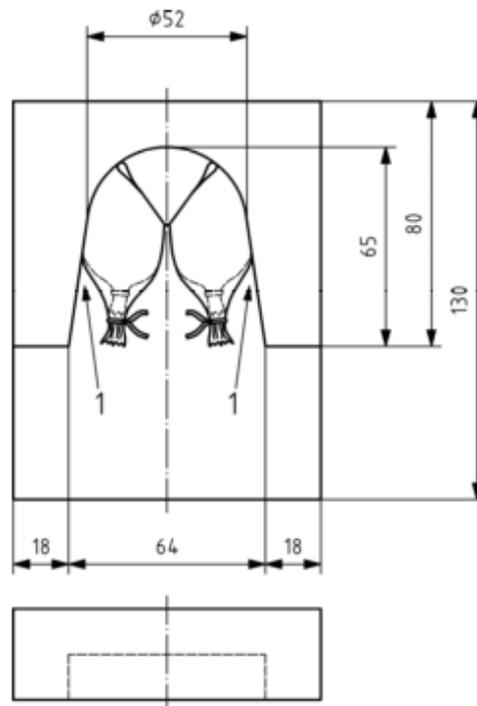


Figura 14. Provete revestido com um tubo de gaze, com a configuração final do provete (NP EN 997:2005 - *Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado*, 2005)

Os provetes tipo obtidos, para cada um dos conjuntos são ilustrados na Figura 15. A azul são os provetes que correspondem a 160 g e a verde são os que correspondem a 100 g (conjunto de 2 provetes).



Figura 15. Provetes tipo obtidos, para cada um dos conjuntos. A azul são os utilizados para o conjunto de 160 g e a verde para o conjunto 100 g (conjunto de 2 provetes)

3.2.3.2. Papel higiênico

O papel higiênico constitui uma variável incontrolável numa descarga sanitária, pelo que a quantidade lançada numa sanita, para uma descarga, varia pelo tipo de papel, de pessoa para pessoa e consoante o local de utilização, se público ou privado.

Procurou-se uma quantidade de papel razoável para a simulação de cada descarga, sendo que o comprimento de referência foi de 2,40 m de papel. A gramagem e o tipo de papel foram também experimentados, realizando-se ensaios com dois tipos de papel.

O papel de menor gramagem foi um com folha dupla, reciclado, com dimensões de 12 mm x 9 mm, com 24 folhas em 2,40 m, tendo um peso total de 7,13 g. O papel com maior gramagem, foi um com folha quadrupla, realizado em pasta virgem, com 13,7 mm x 9 mm, com 17,5 folhas em 2,40 m, tendo um peso total de 13,81 g.

Dado que, após uma utilização da sanita, o papel é lançado em partes, decidiu-se realizar o lançamento do papel em três partes com as folhas ligeiramente amarrotadas num determinado intervalo de tempo.

Com isto definiu-se que o papel de menor gramagem iria num conjunto de 8, 6 e 6 folhas ligeiramente amarrotadas e o papel de maior gramagem, que tem maior comprimento por cada folha, iria num conjunto de 7,5, 5 e 5 folhas, (Figura 16).



Figura 16. Conjuntos de papel higiênico. À esquerda o conjunto de menor gramagem e à direita o de maior gramagem

O intervalo de tempo, no lançamento de cada conjunto de cada conjunto foi de 15 segundos, lançando-se em primeiro lugar o maior número de folhas do conjunto, após o lançamento do último provete que simula a matéria fecal.

Este período de tempo influencia a saturação do papel que posteriormente condiciona a configuração inicial do aglomerado.

3.3. Ensaios de conformidade

Os ensaios de conformidade têm como objetivo verificar a eficiência de descarga, de modo a preencher os requisitos de funcionamento do conjunto constituído pelo autoclismo, com os dois volumes de descarga, e pela sanita, de acordo com a NP EN 997.

3.3.1. Lavagem das paredes do vaso sanitário

Segundo a NP EN 997 o ensaio da lavagem das paredes do vaso sanitário é realizado com recurso a 20 g de serradura de madeira, fina e seca, que é lançada nas paredes e do vaso sanitário, Figura 17.

A limpeza do vaso requerida é tal que a média aritmética das áreas não molhadas abaixo do bordo e acima da superfície da água do sifão, não deverá ser maior que 50 cm² e, isto deve ser verificado com cinco operações de descarga.

Este é o único método de avaliação da limpeza das paredes da sanita que consta na Norma. Contudo, face às novas geometrias das paredes das sanitas mais recentes e às maiores exigências nos requisitos de limpeza, este método revelou-se pouco avaliativo, pelo que serve apenas para verificar se a água do autoclismo atinge todos os pontos das paredes da sanita.



Figura 17. Ensaio da lavagem das paredes do vaso sanitário

3.3.2. Evacuação do papel higiénico

O ensaio de evacuação do papel higiénico é realizado com recurso a 6 folhas de papel higiénico que devem ser evacuadas do vaso sanitário num mínimo de 4 vezes em 5 descargas.

A NP EN 997 considera dois tipos de ensaio para o papel higiénico, sendo um deles especificamente para autoclismos com volume de descarga reduzido. Este ensaio requer um tipo de papel higiénico com um tempo de saturação de (15 ± 10) s com dimensões aproximadas de 140 mm x 100 mm com uma massa por unidade de superfície de (30 ± 10) g/m².

O ensaio para medição do tempo de saturação está descrito na Norma. Contudo, não é necessária a sua realização, pois o papel a utilizar é já o recomendado para este fim de acordo com a Norma.

Este ensaio processou-se então com o lançamento das 12 folhas de papel higiénico para o vaso sanitário, uma a uma, num tempo de 14 a 18 segundos, sendo a descarga do dispositivo ativada 2 segundos após o lançamento da última folha na sanita.



Figura 18. Folhas de papel higiénico para a realização do ensaio de evacuação do papel higiénico

3.3.3. Descarga de cinquenta esferas de plástico

A NP EN 997 não considera este tipo de ensaio para os produtos de classe 2, que são os que abrangem os autoclismos eficientes. Contudo, por este ser um ensaio muito utilizado na verificação de conformidade, torna-se pertinente a sua realização.

O ensaio de descarga das 50 esferas de plástico, Figura 19, processa-se com o lançamento para o vaso sanitário do respetivo número de esferas, cada uma com massa de $(3,7 \pm 0,1)$ g e diâmetro de $(20 \pm 0,1)$ mm. Para efeitos de conformidade, após o lançamento e a descarga, o vaso sanitário terá que evacuar um mínimo de 85% das esferas, em média, em 5 descargas.

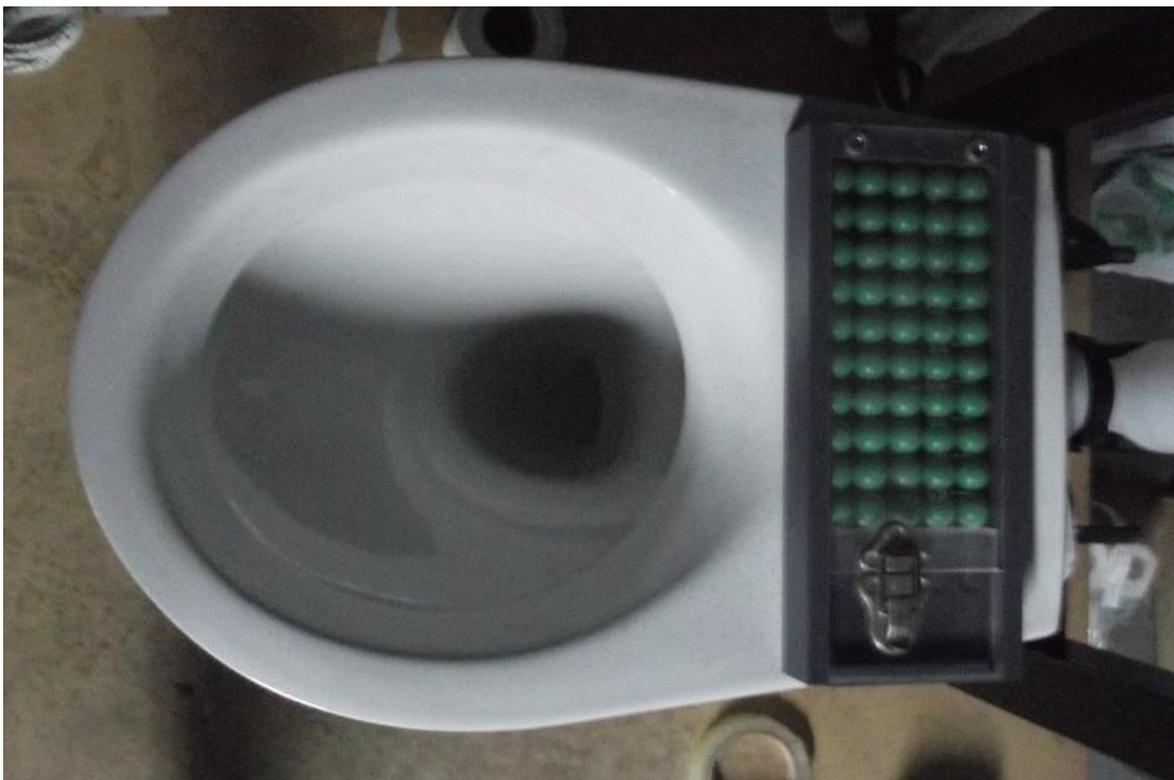


Figura 19. Esferas para o ensaio de descarga de cinquenta esferas de plástico

3.3.4. Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga

Este ensaio, realizado igualmente segundo a NP EN 997, é o que melhor avalia a eficácia de descarga, dado que considera uma certa quantidade de sólidos e volume que devem ser removidos da sanita, para que o volume de descarga e a sanita estejam conformes.

A fim de realizar este ensaio é necessário uma sanita devidamente instalada com a cisterna de descarga, onde se inclui o autoclismo. Os provetes são os representados no Anexo E da NP EN 997. A Figura 20 (que retoma a Figura 13) apresenta as dimensões em milímetros e a constituição de cada provete.

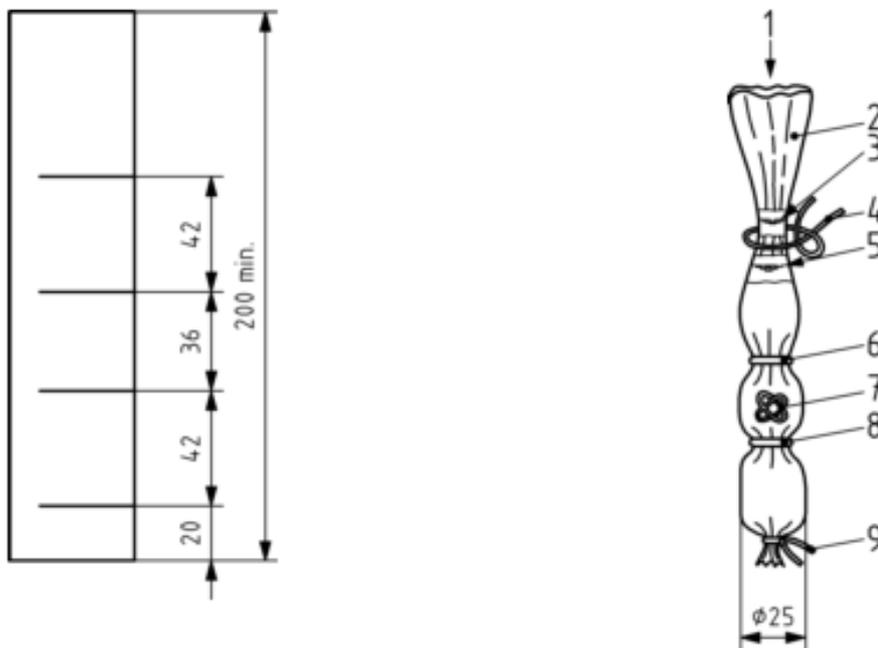


Figura 20. Bitola para medição (mm) (esquerda), localização dos nós no provete (direita)(*NP EN 997:2005 - Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado, 2005*)

Legenda:

- 1- 37 ml de água
- 2- Tripa sintética
- 3- Nível de água, depois de feito o nó
- 4- Fio
- 5- Nível de água, antes de feito o nó
- 6- Retentor
- 7- Anel detetor metálico
- 8- Retentor
- 9- Fio

A configuração final, com as dimensões em milímetros, que deverá ter cada provete é apresentada na Figura 21 (que retoma a Figura 14).

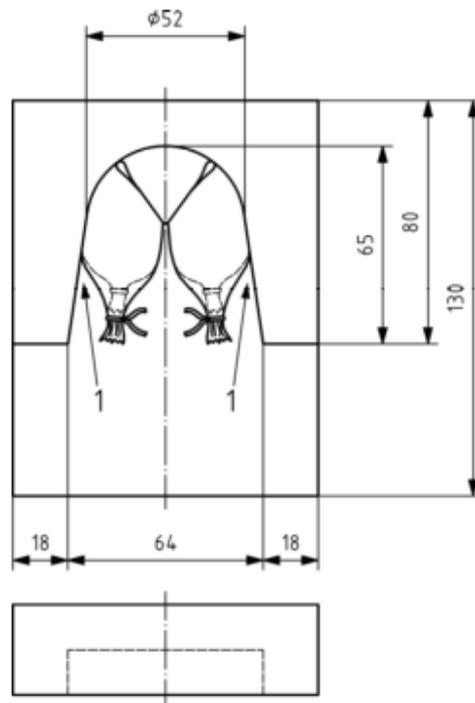


Figura 21. Provete revestido com um tubo de gaze, com a configuração final do provete (NP EN 997:2005 - *Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado*, 2005)

O provete tipo obtido é ilustrado na Figura 22.



Figura 22. Provete tipo obtido de acordo com a NP EN997

3.3.5. Outros ensaios de conformidade

A Norma considera ainda outros ensaios que visam avaliar, nomeadamente, as velocidades e o caudal na descarga do autoclismo para a sanita. Estes ensaios, apesar de não serem determinantes neste estudo, poderiam constituir um forte complemento, mas devido à impossibilidade de aquisição do equipamento necessário este parâmetro não foi avaliado.

Saliente-se apenas que, em futuras experiências, dever-se-ia estudar este fenómeno, de modo a analisar o devido efeito do caudal e velocidade de descarga, pelo que, apesar de se saber o caudal de descarga do autoclismo, este (e a velocidade) irão variar dependentemente da configuração dos orifícios de entrada de água na sanita.

3.4. Ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem

3.4.1. Considerações gerais

Os ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem, que constituem a matéria principal desta dissertação, realizaram-se com o equipamento executado para o efeito, apresentado no Capítulo 3.2, nas instalações da empresa Oliveira e Irmão SA. As variáveis dependentes do sistema de drenagem experimentadas, foram o volume de descarga, o diâmetro e a inclinação do ramal de descarga. As gamas de valores experimentadas em cada uma destas variáveis são resumidas na Tabela 6.

Tabela 6. Variáveis dependentes do sistema de drenagem a experimentar

	Variáveis Dependentes
Volume de descarga (total/parcial) (l)	6/3,5 e 4/2
DN (mm)	90 e 110
Inclinação (%)	1, 2, 3 e 4

As variáveis que intervêm no processo de escoamento e que não dependem do sistema de drenagem (as variáveis independentes, como o papel higiénico e a matéria fecal), têm os

valores experimentados resumidos na Tabela 7. É de referir que o papel de menor gramagem corresponde 7,13 g e o de maior a 13,81 g.

Tabela 7. Variáveis independentes ao sistema que serão experimentadas

	Variáveis Independentes
Papel higiénico	Sem papel, menor gramagem e maior gramagem
Peso saturado dos sólidos (g)	100 e 160

3.4.2. Procedimento de ensaio

Os ensaios que avaliaram o desempenho no ramal de drenagem executaram-se com o lançamento de dois provetes sólidos, desde a superfície da sanita, à distância de $\frac{3}{4}$ da frente sanita e no eixo central em relação aos lados da mesma, como se verifica na Figura 23.



Figura 23. Lançamento dos provetes na sanita (à esquerda 100 g e à direita 160 g)

Seguiu-se o lançamento do papel higiénico em 3 conjuntos de folhas amarradas, num intervalo de tempo de 15 segundos. Depois acionou-se o autoclismo e contabilizou-se

o tempo da descarga dos sólidos até à sua paragem ou saída pelo ramal e a respetiva distância percorrida, obtendo assim a velocidade média no ramal.

Os sólidos que se depositaram no ramal foram sujeitos a uma segunda descarga, onde foi medida a nova distância percorrida. O procedimento repetiu-se de modo a relacionar todos as variáveis envolvidas.

A realização dos ensaios para a análise do escoamento no ramal de drenagem foi condicionada pela verificação da conformidade dos conjuntos autoclismos – sanita. Dado que a eficiência de limpeza do conjunto com o autoclismo com um volume total de descarga de 4 l não foi totalmente assegurada, os provetes que simulam a matéria fecal ficaram com um peso máximo de 160 g.

Estes ensaios admitiram que uma descarga só seria válida se a limpeza no vaso sanitário fosse realizada de uma só vez, ou seja, com a remoção de um único aglomerado sólido (constituído pelos provetes, matéria fecal artificial e papel higiénico).

Em casos de entupimento ou de uma limpeza incompleta, realizou-se uma nova descarga. Contudo houve um conjunto de provetes, que correspondeu a 160 g de sólidos sem papel higiénico, que não foi analisado no ramal pois, curiosamente, a probabilidade de entupimento era muito elevada, próxima dos 100%.

Os resultados obtidos nestes ensaios foram também condicionados pelo tamanho do ramal, pelo que, se o comprimento deste fosse maior, a comparação dos resultados segundo as várias variáveis seria mais completa.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CONFORMIDADE

4.1. Considerações gerais

Estes ensaios, apesar de não constituírem o estudo central nesta dissertação são importantes para se proceder à análise dos sólidos no ramal, na medida em que é no vaso sanitário que se processa o início do transporte dos sólidos para o ramal de descarga.

Os ensaios realizados de acordo com a NP EN 997 para avaliar a conformidade dos conjuntos, autoclismos – sanita, serão apresentados, analisados e comentados ao longo deste Capítulo.

4.2. Resultados dos ensaios de conformidade

4.2.1. Lavagem das paredes do vaso sanitário

Os ensaios da lavagem das paredes do vaso sanitário foram positivos para ambos os volumes de descarga ensaiados, 4 l e 6 l, pelo que a serradura lançada nas paredes do vaso (como verificado na Figura 17) foi completamente removida após as descargas.



Figura 24. Resultados dos Ensaios da lavagem das paredes do vaso sanitário

4.2.2. Evacuação do papel higiênico

Os ensaios de evacuação do papel higiênico foram igualmente positivos para ambos os volumes de descarga ensaiados, ou seja, as 12 folhas de papel lançadas para a sanita foram removidas facilmente.



Figura 25. Lançamento das folhas de papel no Ensaio de evacuação do papel higiênico

4.2.3. Descarga de cinquenta esferas de plástico

O ensaio da descarga de cinquenta esferas de plástico (Figura 26) foi o que mais divergiu, nos resultados finais, face a ambos volumes de descarga ensaiados.



Figura 26. Lançamento das esferas para Ensaio de descarga de cinquenta esferas de plástico

Para o volume de descarga de 6 l o resultado dos ensaios foi positivo, sendo a média da percentagem de esferas passadas (removidas do vaso sanitário) igual a 85,2%, Tabela 8.

Tabela 8. Resultado dos ensaios de descarga de cinquenta esferas de plástico para o volume de descarga de 6 l

Nº descarga	Nº de esferas		Percentagem (%)	
	Passadas	Retidas	Passadas	Retidas
1	43	7	86	14
2	43	7	86	14
3	42	8	84	16
4	42	8	84	16
5	43	7	86	14
		Média	85,2	OK

Para o volume de descarga de 4 l o resultado dos ensaios já não foi positivo, sendo que média da percentagem de esferas passadas não foi superior a 85% (Tabela 9).

Tabela 9. Resultado dos ensaios de descarga de cinquenta esferas de plástico para o volume de descarga de 4 l

Nº descarga	Nº de esferas		Percentagem (%)	
	Passadas	Retidas	Passadas	Retidas
1	42	8	84	16
2	41	9	82	18
3	37	13	74	26
4	42	8	84	16
5	41	9	82	18
		Média	81,2	KO

Este registo obtido, 81,2%, vem comprovar o rótulo atribuído através da NP EN 997 à sanita utilizada, sendo que esta deverá funcionar corretamente com um mínimo de volume de descarga de 4,5 l.

4.2.4. Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga

Para ambos os volumes de descarga, os quatro provetes foram removidos em todos os ensaios realizados.

Os ensaios de descarga de sólidos e volume após descarga (Figura 27) seriam os que, teoricamente, melhor iriam avaliar a conformidade do conjunto.

Contudo, dado que ambos os resultados foram positivos, o ensaio das esferas acaba por ser o que avalia mais pormenorizadamente a ação de limpeza e evacuação de sólidos num vaso sanitário.



Figura 27. Lançamento dos provetes para o Ensaio de descarga de sólidos e volume após descarga

4.3. Comentários e conclusões

Estes ensaios de conformidade conduziram a uma melhor perceção no que diz respeito aos critérios de conformidade para o funcionamento adequado de conjuntos de autoclismos e sanitas independentes.

Estes conjuntos, quando são dependentes, têm a devida certificação e podem ser implementados sem que seja necessário recorrer a ensaios de conformidade. Pelo contrário, quando independentes, o novo conjunto poderá necessitar de uma nova série de ensaios de conformidade que avalie a performance.

O problema de inconformidade de um conjunto poderá ser um grave problema que origina o mau desempenho de sistema de drenagem.

Os ensaios de lavagem das paredes do vaso sanitário e de evacuação do papel higiénico foram, neste grupo de ensaios de conformidade, os menos conclusivos relativamente às diferenças entre a ação na limpeza face aos dois volumes experimentados. Apesar dos resultados positivos, estes não constituem uma fonte de informações significativas para os resultados de conformidade, nem para a análise do escoamento no

ramal. Contudo, este conjunto mostra um bom poder de limpeza nas paredes do vaso sanitário e na remoção de papel, de pelo menos 12 folhas.

O ensaio da descarga de cinquenta esferas de plástico acabou por ser o que melhor avaliou a performance do conjunto, pelo que foi por este ensaio que se confirmou a certificação da sanita, face aos volumes de descarga que esta assegura.

O ensaio de descarga de sólidos e volume foi positivo para ambos os volumes, mas não se observou a existência de diferenças significativas face aos dois volumes ensaiados, pelo que a remoção dos sólidos foi igual em ambos os casos.

Ao longo desta verificação de conformidade e face aos resultados obtidos, ficaram algumas dúvidas de que resultados se teriam que obter, e em que ensaios, para se avaliar coerentemente a performance do conjunto, segundo a EN NP 997. Esta norma enumera efetivamente uma série de ensaios para avaliação da conformidade e de requisitos mínimos de funcionamento do autoclismo com a sanita, mas não atribui uma classificação qualitativa ou quantitativa final, que seria muito útil aquando de uma instalação do equipamento.

Exemplo desta incompatibilidade são precisamente os resultados dos ensaios das cinquenta esferas e da descarga de sólidos e volume, onde o segundo acaba por não ter grande significância dado os resultados do primeiro. Igualmente, o ensaio de evacuação do papel higiénico acaba por não ter a devida significância, pelo que representa uma quantidade pouco elevada de papel. Este ensaio poderia ser, por exemplo, realizado em conjunto com o ensaio de evacuação de sólidos e volume, pois constituiria uma avaliação muito mais próxima da realidade, algo que a Norma não considera.

Segundo estudos realizados no âmbito da performance de conjuntos de autoclismos e sanitas, foi apontado um método, utilizado na Alemanha, que atribui um nota à performance de um conjunto, sendo que o objetivo foi precisamente colmatar a lacuna da classificação anteriormente referida.

O método supracitado tem por base 3 tipos de ensaios que contribuem com pesos diferentes para a classificação final do conjunto. O primeiro ensaio que contribui com 20% é o “teste dos pontos”, (Figura 28), que se baseia na marcação de pontos em toda a área do vaso sanitário, com uma caneta de feltro, para depois se verificar o respetivo desgaste após as descargas sanitárias.



Figura 28. "Teste dos pontos" (Demiriz, 2008)

O resultado final é dado pela quantidade de pontos que são removidos, que é consequentemente associada a uma escala para a respetiva relação com o peso do ensaio. O segundo ensaio, com um peso de 40%, é baseado no ensaio de descarga de sólidos e volume e no ensaio de evacuação do papel higiénico, mas realizados aqui em conjunto, para uma primeira descarga e segunda descarga. O terceiro ensaio, com um peso de 40% é precisamente o ensaio de descarga das cinquenta esferas de plástico que, como se observou, foi o que mais divergiu face aos dois volumes de descarga ensaiados (Demiriz, 2008).

As experiências realizadas segundo os ensaios referidos, testaram a conformidade de nove sanitas e um autoclismo com dois volumes totais de descarga, com 6 l e 4,5 l, respetivamente. Curiosamente, uma sanita igual à que se utilizou no procedimento experimental desta dissertação, foi utilizada nestas experiências, sendo que, no resultado final da eficiência de limpeza segundo a classificação atribuída, a sanita com o autoclismo de 6 l ficou em 7º lugar e com o autoclismo de 4,5 l ficou em 13º lugar, entre 13 conjuntos testados (Demiriz, 2008).

Estes resultados vêm comprovar novamente que a conformidade do conjunto é realmente importante para o processo de escoamento e que, além disto, apesar de poder haver conformidade, a ação de limpeza do vaso sanitário só poderá ser efetivamente avaliada quando houver um sistema que classifique e relacione os vários tipos de ensaios de conformidade.

No que diz respeito à relação dos ensaios de conformidade realizados com os ensaios de escoamento no ramal, concluiu-se que a performance do conjunto com autoclismo de 6 l está assegurada, ao contrário do que acontece com o de 4 l.

Posto isto, a realização dos ensaios de análise do escoamento no ramal ficou condicionada relativamente aos pesos e volumes dos provetes, ou seja, estes últimos não poderiam ter esses valores elevados, pois a limpeza no vaso sanitário não seria realizada de uma só vez, como se pretende para a análise no ramal, isto é, ter-se um único aglomerado sólidos a entrar no ramal.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ESCOAMENTO NO RAMAL DRENAGEM

5.1. Considerações gerais

Ao nível dos critérios para análise dos ensaios de escoamento no ramal de drenagem, o principal critério de avaliação do escoamento é precisamente as distâncias percorridas pelos sólidos no ramal, pelo que se pretende a maior distância percorrida.

A velocidade média do aglomerado no escoamento, é igualmente um fator importante nesta análise. Para avaliar a velocidade admitiu-se o escoamento como um movimento uniforme, de velocidade constante (2), segundo a distância percorrida no ramal L (m) e o tempo t (s) de paragem ou de saída do aglomerado no mesmo:

$$U = \frac{L}{t} \text{ (m/s)} \quad (2)$$

Onde:

L (m) – é a distância do aglomerado percorrida no ramal (distância da parte de jusante);

t (s) – é o tempo de paragem ou de saída do aglomerado no ramal.

Sendo que um escoamento uniforme é compreendido pelos escoamentos em regime permanente, quer sob pressão, quer com superfície livre (Quintela, 2007), admitiu-se para a análise um caudal médio de escoamento (3), determinado através da velocidade média U (m/s) e da área da secção transversal A (m²) do ramal de drenagem:

$$Q = U \times A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3)$$

Onde:

U – Velocidade média do aglomerado no escoamento (m/s);

A – Secção do ramal de drenagem (m²).

Com estes dados a avaliação do escoamento no ramal pôde ser executada sob várias análises, nomeadamente com a velocidade média e caudal médio do aglomerado no ramal, não ficando restringida apenas uma análise segundo a distância percorrida no ramal.

É através dos caudais de descarga que se realiza o dimensionamento dos ramais, tanto no RGSPDADAR, como na NP EN 12056-2. O Regulamento Português, que não faz depender o valor do volume do autoclismo, admite para uma descarga de uma bacia de retrete um caudal de 90 l/min, o que equivale a 1,5 l/s, e ao qual associa um ramal de descarga de diâmetro com 90 mm (Silva-Afonso, 2001).

Já na Norma Europeia, que recorre a “unidades de descarga” (DU) para o dimensionamento, não admite, no Sistema I, autoclismos de 4 l. Nos autoclismos de 6 l e 7,5 l da DU que a Norma Europeia atribui é de 2 l/s e para autoclismos de 9 l admite uma DU de 2,5 l/s. (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000).

Ainda segundo o Sistema I da Norma Europeia, para ramais não ventilados, esta associa a um caudal máximo de dimensionamento de 2 l/s o diâmetro de DN80, mas sem escoamentos de bacias de retrete. Para um caudal de 2,25 l/s associa o diâmetro de DN90, desde que existam nessa ligação no máximo duas bacias de retrete e uma mudança total de direção que não ultrapasse 90° (*EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation*, 2000). Para o caudal máximo de 2,5 l/s a Norma admite um mínimo de DN100, o que em Portugal implica habitualmente um de DN110 (Silva-Afonso, 2001).

5.2. Resultados dos ensaios de escoamento no ramal de drenagem

Os resultados dos ensaios de escoamento no ramal estão tabelados nos Anexos, que são numerados segundo os conjuntos dos diâmetros do ramal e volumes de descarga ensaiados:

Anexo 1: Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN110 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 6 litros;

Anexo 2: Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN110 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 4 litros;

Anexo 3: Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN90 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 6 litros;

Anexo 4: Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN90 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 4 litros.

As entradas das tabelas que indicam as variáveis envolvidas que são, da esquerda para a direita, a inclinação do ramal de drenagem (%), o diâmetro nominal (DN) do ramal (mm), o volume de descarga total do autoclismo (l), a gramagem do papel higiênico (g).

O grupo de parâmetros referentes aos resultados da 1ª descarga, indicam a distância anterior (m) do aglomerado, ou seja, a distância no ramal até ao ponto em que o aglomerado se deposita, a média dessas distâncias anteriores (m) para o conjunto dos três ensaios realizados com uma gramagem de papel, a distância posterior (m), que é a distância no ramal até ao ponto mais avançado do aglomerado, a velocidade média (m/s) do aglomerado no ramal, a média dessas velocidades para o conjunto dos três ensaios realizados com uma gramagem de papel, o caudal médio (m³/s) do aglomerado no ramal, a média desses caudais para o conjunto dos três ensaios realizados com uma gramagem de papel e a indicação sobre se a limpeza do ramal é realizada completamente na 1ª descarga.

Na última entrada, caso a limpeza fosse realizada (“LIMPA”), não seria necessário recorrer a uma 2ª descarga, se a limpeza não fosse realizada (“NÃO LIMPA”), realizava-se a 2ª descarga para quantificar a nova distância de transporte. No caso de não se conseguir realizar nem a 1ª descarga, devido à grande probabilidade de entupimento, o ensaio não foi aplicável (“NA”) ao conjunto referente.

O grupo de parâmetros referentes aos resultados da 2ª descarga, surgem na sequência dos ensaios em que houve retenção de sólidos no ramal na 1ª descarga e indicam, para a 2ª descarga, a distância anterior (m) do aglomerado que é a distância no ramal até ao ponto em que o aglomerado se deposita, a média dessas distâncias anteriores (m) para o conjunto dos três ensaios realizados com uma gramagem de papel, a distância posterior (m) que é a distância ao ramal até ao ponto mais avançado do aglomerado, a diferença anterior (m) que é a diferença entre na distância anterior da 1ª descarga e na distância anterior da 2ª descarga, a diferença posterior (m) que é a diferença entre na distância posterior da 1ª descarga e na distância posterior da 2ª descarga.

A coluna “Limpa na 2ª descarga” indica se a 2ª descarga foi suficiente para limpar o ramal. As últimas colunas das tabelas, referem as diferenças nas distâncias anteriores (m) e

posteriores (m) respetivamente, para os casos em que a 2ª descarga não foi suficiente para limpar o ramal.

É de referir que quando o valor da distância anterior (m) é igual ao valor da distância posterior (m), 10,5 m no ramal de DN110 e de 10,3 m no ramal de DN90, significa que a limpeza foi realizada. Estas distâncias dos ramais já incluem 0,4 m do troço vertical.

5.3. Análise do processo de escoamento no ramal de drenagem

Como já foi exposto, este tipo de escoamento é complexo face às variáveis independentes que interferem e que são muito aleatórias como, a quantidade, o peso, o volume e a deformabilidade da matéria fecal e a quantidade e tipo de papel higiénico utilizado. Antes de se processar o escoamento no ramal, tem que se atender ao processo de descarga no vaso sanitário, pois é a partir deste que se vai processar o escoamento no ramal.

Um mau processo de descarga pode condicionar o transporte dos sólidos na primeira descarga e é nesta fase onde parâmetros como a deformabilidade e volume da matéria fecal aparentaram ter mais influência. Já no ramal, é o peso em vez da deformabilidade a ter mais influência.

O lançamento do papel higiénico, Figura 29, constituiu resultados importantes e aparentou ter uma influência positiva quer na limpeza dos sólidos na sanita, quer na limpeza dos sólidos no ramal, para o intervalo de valores experimentado. Exemplo disto foram os conjuntos de provetes de maior peso 160 g, sem papel higiénico, que não foram analisados no ramal de drenagem por não se conseguirem evacuar totalmente da sanita após uma descarga, quer para uma volume de descarga de 4 l, quer de 6 l.

O papel higiénico na sanita cria um plano de embate para a água que é descarregada e isto facilita a limpeza dos sólidos na sanita, o transporte no processo de sifonagem e o próprio escoamento no ramal de drenagem.



Figura 29. Papel higiénico a formar uma superfície de impacto para a água na sanita antes da descarga

Após as descargas do autoclismo e a remoção do aglomerado sólido na sanita, este dá entrada no ramal após a passagem pelo sifão. O processo de escoamento no ramal começa precisamente após esta última passagem.

À saída do sifão, o aglomerado, experimenta a primeira curva de 90° do trajeto, contudo esta não é contabilizada para efeitos de limites de curvas de 90°, segundo a Norma Europeia. A saída desta curva conduziu os sólidos para o troço vertical de 0,4 m e, no final deste, é a segunda curva de 90° que conduz o aglomerado para o troço horizontal, onde é influenciado não só pelo diâmetro, mas também pela inclinação do ramal.

O escoamento no troço vertical não foi avaliado ao pormenor, devido à tubagem desse troço não ser transparente e pelo próprio troço constituir uma importante limitação aquando da aplicação, por exemplo, numa habitação. O troço vertical vai depender sempre da altura da sanita, da altura da laje de pavimento e do posicionamento da rede.

Note-se que a realização deste troço vertical poderá ser ignorada em alguns casos, como é exemplo de um ramal de drenagem instalado no interior de uma parede e que recebe diretamente as águas residuais.

Este é um método usual em sistemas de drenagem de edifícios públicos quando estão instaladas várias sanitas em série que descarregam num único ramal. Teoricamente, quanto maior for, a altura de descarga, maior a velocidade do aglomerado e conseqüentemente maior seria a distância percorrida. Contudo, como se irá constatar, este efeito não se verificou.

A entrada e a disposição dos sólidos no troço horizontal foi, em geral, idêntica em todos os casos, na medida em que a configuração do aglomerado foi de tal forma que, tendia a ganhar a forma do tubo (principalmente o papel higiênico) e a matéria fecal se localizava a jusante do aglomerado e o papel higiênico a montante, Figura 30.

Em alguns casos parte do papel higiênico transferia-se para montante, ficando a matéria fecal entre estes e o papel de jusante, Figura 31. Este último efeito verificou-se com mais frequência quando o papel era de menor gramagem.

No ramal com maior secção o efeito tendia a ser o mesmo, porém não se conseguiu validar completamente esta teoria, pois o processo de limpeza na sanita, a passagem pelo sifão e a passagem na curva de 90° antes do troço horizontal, podem influenciar esta configuração.



Figura 30. Disposição do aglomerado no ramal com o papel higiênico a montante



Figura 31. Disposição do aglomerado no ramal com o papel higiênico a jusante e a montante

Atendendo que a deposição de sólidos no ramal aconteceu para as menores inclinações, estes casos mereceram maior atenção, além de que foram nestas situações em que se analisou o efeito da 2ª descarga. O estudo do escoamento para baixas inclinações do ramal é pertinente na medida em que existe uma limitação para a inclinação aquando a aplicação num sistema de drenagem predial, por esta depender geralmente da altura da laje de pavimento.

O diâmetro do ramal condicionou visivelmente o escoamento, principalmente nos casos referidos, quando houve deposição de sólidos. Para o mesmo peso de aglomerado depositado num ramal de DN110 e noutra de DN90, o seu comportamento vai variar.

Enquanto no ramal de DN110 a área livre ao lados do aglomerado é maior, a água que conduz o mesmo vai passar para jusante, por este espaço lateral, e isto vai contribuir para a desaceleração e sobreposição do aglomerado. Esta passagem de água no ramal de DN90 não se dá tão facilmente, pois o aglomerado tende a ocupar uma maior secção do tubo, Figura 32. Em contrapartida a desaceleração no ramal de DN90, nestas condições, esteve relacionada com o atrito entre as paredes do tubo.



Figura 32. Aglomerado depositado num ramal de DN110 (à esquerda) e num de DN90 (à direita)

A altura média da lâmina líquida no escoamento não foi verificada, mas nos casos em que houve deposição no ramal tentou-se estabelecer uma relação da altura da água a jusante do aglomerado, com o aglomerado e com o diâmetro do ramal.

Esta altura é superior quanto maior o volume de água de descarga e quanto menor o ramal, mas o papel higiênico aparentou ter também uma importante papel, pois além de contribuir para a retenção de água a jusante, tem também o poder de absorver esta água. Contudo, este último aspeto pode induzir um maior atrito às paredes do tubo.

Em geral, na tubagem de DN110, nos casos em que houve retenção, a altura da lâmina líquida a montante do aglomerado variou entre $1/3$ e $1/4$ da altura do ramal (Figura 33) e no ramal de DN90 essa altura foi em média metade da altura (Figura 34).



Figura 33. Altura da lâmina líquida a montante do aglomerado depositado no ramal de DN110

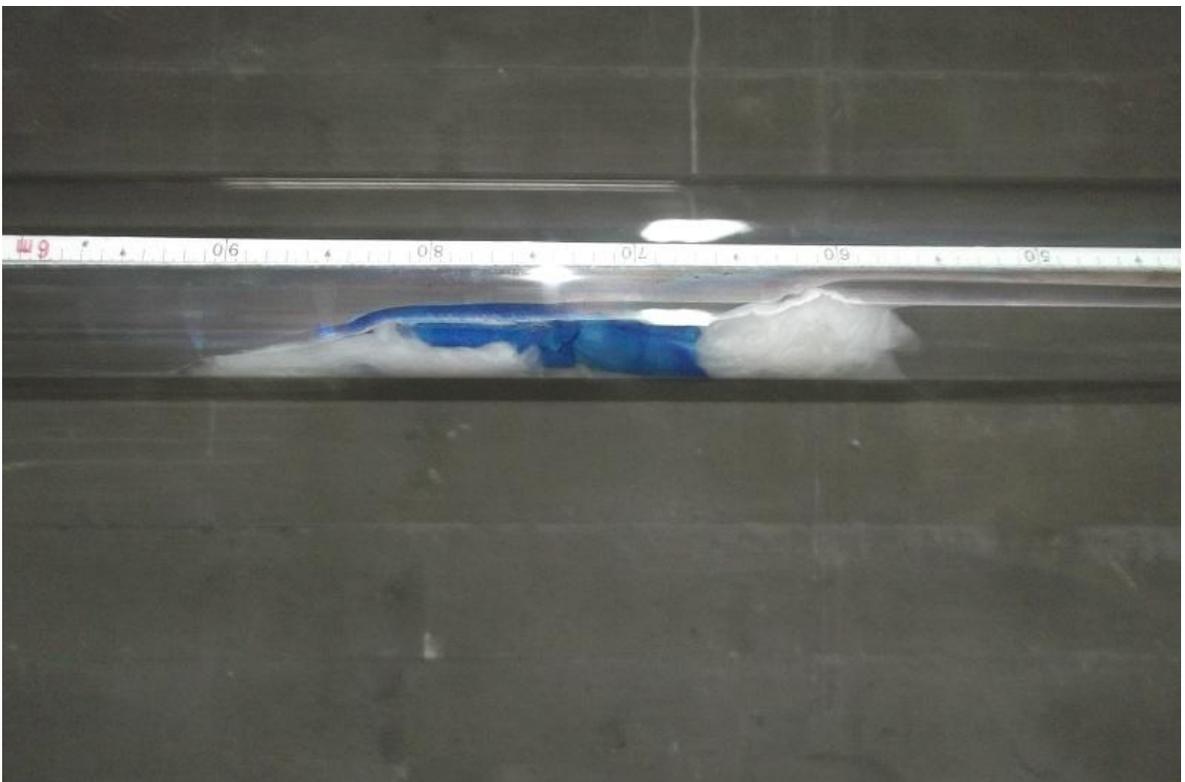


Figura 34. Altura da lâmina líquida a montante do aglomerado depositado no ramal de DN90

A deposição dos sólidos no ramal levou à 2ª descarga, onde o volume de descarga não pesou significativamente em relação aos autoclismos de 4 l ou de 6 l, pois a configuração do aglomerado no ramal é que comprovou ter um maior peso. No ramal de DN90, apesar de ter sido onde se verificaram os melhores resultados de limpeza na segunda descarga, observaram-se alguns casos de refluxo. Este efeito (Figura 35) é ilustrado em três fases: quando o aglomerado está em repouso (1), quando a água da segunda descarga atinge o aglomerado (2) e quando o aglomerado entra em movimento, que é quando se dá o refluxo (3), em que a água se encaminha para o início do ramal, preenchendo toda a secção do ramal.

Esta situação é mais preocupante quanto menor for a distância percorrida no ramal pelo aglomerado.

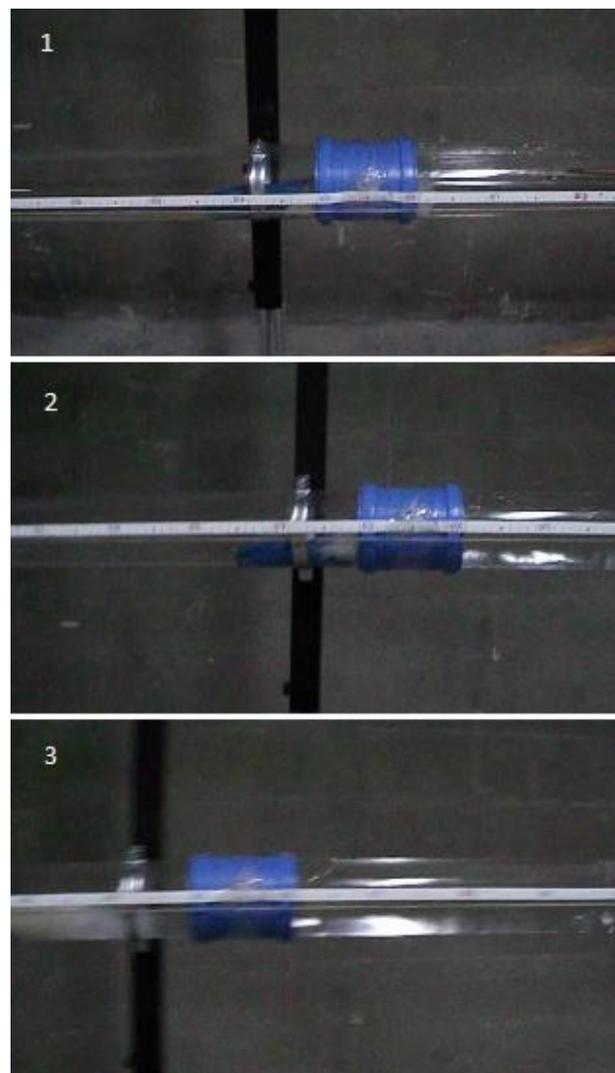


Figura 35. Sequência de refluxo no ramal de DN90

5.4. Análise das distâncias percorridas no ramal de drenagem

5.4.1. Análise da influência do volume de descarga e do diâmetro do ramal

Com os resultados dos anexos, calculou-se as médias das distâncias percorridas pelos sólidos no ramal, distância anterior (m), a fim de se analisar qual o conjunto de volume de água no autoclismo e do diâmetro nominal do ramal, onde se obtém as maiores distâncias percorridas, para as quatro inclinações experimentadas, Tabela 10.

Estes valores das distâncias continuam influenciados pelo tamanho do ramal. É de referir a diferença dos comprimentos do ramal, pois o ramal de DN110 é 0,2 m maior do que o de DN90. Assim, para esta análise admitiu-se que ambos os ramais com o comprimento de 10,3 m. A distância média (m) é a distância anterior (m), referente à posição do sólido mais a jusante do aglomerado.

Tabela 10. Média das distâncias percorridas pelos sólidos no ramal (m), para cada conjunto de volume de descarga (l) e diâmetro nominal (mm), para as quatro inclinações analisadas

Anexo	Volume (l)	Diâmetro nominal (mm)	Distância média (m)
1	6	110	9,81
2	4	110	8,55
3	6	90	10,08
4	4	90	9,07

Pela análise desta tabela, confirma-se que o volume de água no autoclismo é de facto uma componente com uma forte influência no arrastamento de sólidos no ramal. É pois, com o volume de 6 l que se obtém as maiores distâncias percorridas. Relativamente ao diâmetro do ramal, é no de DN90 que os sólidos apresentam um maior poder de transporte.

Relacionaram-se estas duas variáveis através da sua razão (Tabela 11) para se obter as diferenças entre as distâncias percorridas no ramal, entre ambos os volumes de descarga, no mesmo ramal, no de DN110 e no de DN90, respetivamente. Realizou-se ainda a mesma análise, mas para saber a diferença entre as distâncias percorridas no ramal, entre ambos os diâmetros do ramal, para o mesmo volume de descarga (6 l ou 4 l).

Tabela 11. Redução na distância percorrida no ramal para os diferentes valores de DN e do volume de descarga

Volume (l)	Diâmetro nominal (mm)	Redução na distância (%)
6	110	-14,74
4	110	
6	90	-11,10
4	90	
6	110	2,68
6	90	
4	110	5,76
4	90	

Segundo esta análise a influência do volume de descarga é maior do que a influência do diâmetro do ramal no escoamento. A diferença nas distâncias percorridas é maior no ramal de DN110 com 14,74% do que o de DN90 com 11,1%. A causa desta diferença deve-se aos baixos resultados de arrastamento no ramal de DN110 com a descarga de 4 l, que são consequência do maior diâmetro do ramal com o menor volume de descarga, o que influencia a desaceleração dos sólidos devido ao maior espaço que tem a água, que gera a energia de transporte a montante, para passar para jusante dos sólidos.

Comparando as distâncias percorridas para o mesmo volume, em ambos os diâmetros do ramal, é nas descargas com o volume de 4 l que os valores mais divergem com 5,76%, sendo que nas de 6 l a diferença é de apenas 2,68%. Esta maior diferença está deve-se igualmente aos baixos resultados de arrastamento no ramal de DN110.

5.4.2. Análise da influência da inclinação

A objetivo nestes ensaios era conseguir que o aglomerado sólido não se depositasse no ramal de drenagem, o que veio obrigar a que a distância percorrida pelos sólidos fosse o principal parâmetro de análise e pretendia-se que essa distância fosse superior a 10 m. Avaliaram-se separadamente as distâncias no ramal de DN90 e no de DN110, face às inclinações estipuladas e concluiu-se que a distância de arrastamento é maior no ramal de diâmetro inferior, dentro dos valores ensaiados. Comprovou-se que uma inclinação mais

acentuada e um volume de descarga superior influenciam em grande medida, pois conduzem a boas distâncias percorridas, como era previsível.

Analisando a inclinação em particular, os resultados foram positivos, em ambos ramais os diâmetros ensaiados, com inclinações de 3% e 4%, sendo os valores mais favoráveis os do ramal de DN90. Nos ramais com inclinação de 1% e 2% foi onde se verificou uma maior deposição de sólidos, principalmente no ramal de DN110, que teve o pior desempenho no geral com descargas de baixo volume.

No Gráfico 1 apresentam-se as distâncias de arrastamento dos sólidos no ramal de DN110, segundo a inclinação, com o comprimento máximo de 10,5 m.

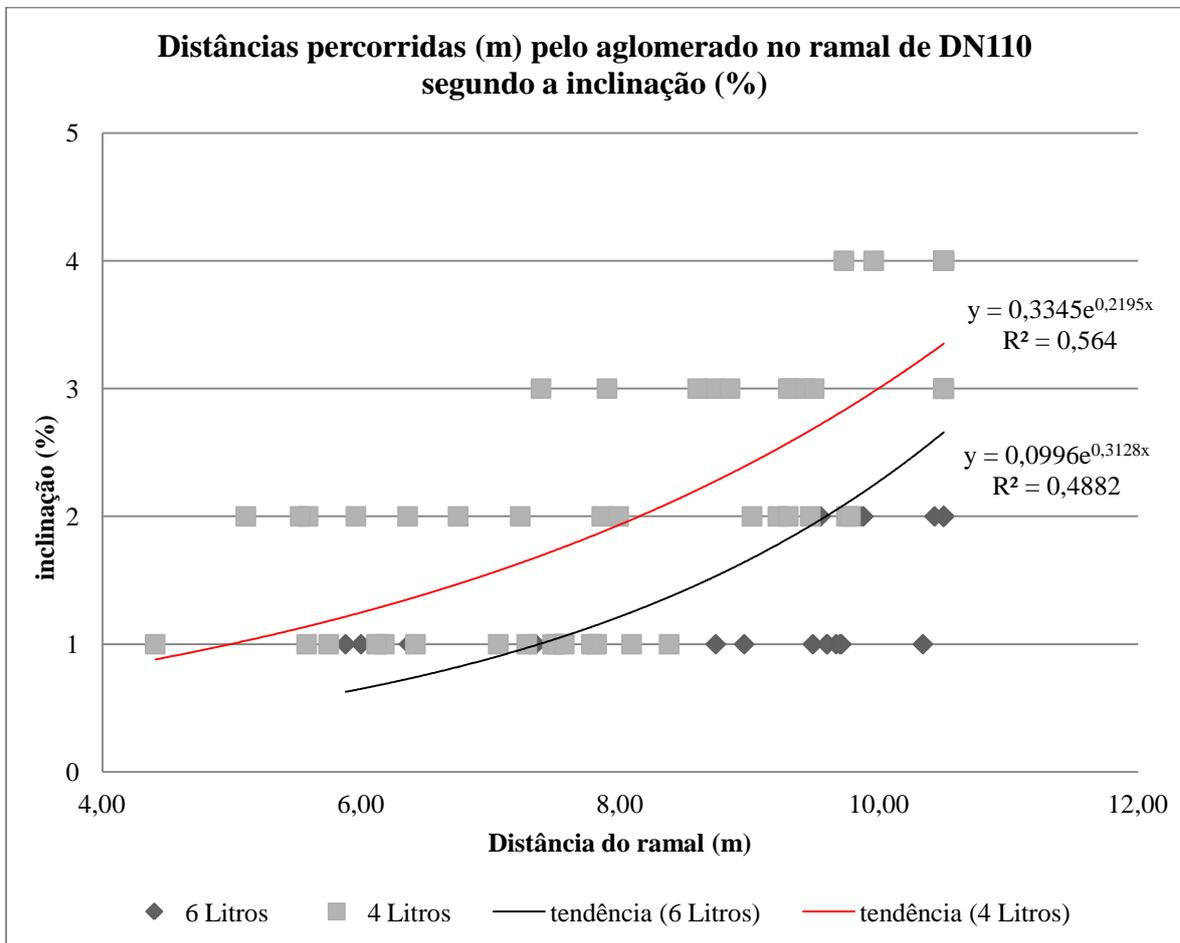


Gráfico 1. Distâncias percorridas (m) pelo aglomerado no ramal de DN110 segundo a inclinação (%)

No Gráfico 2 encontram-se as distâncias de arrastamento dos sólidos no ramal de DN90, segundo a inclinação, para um comprimento máximo do ramal com 10,3 m.

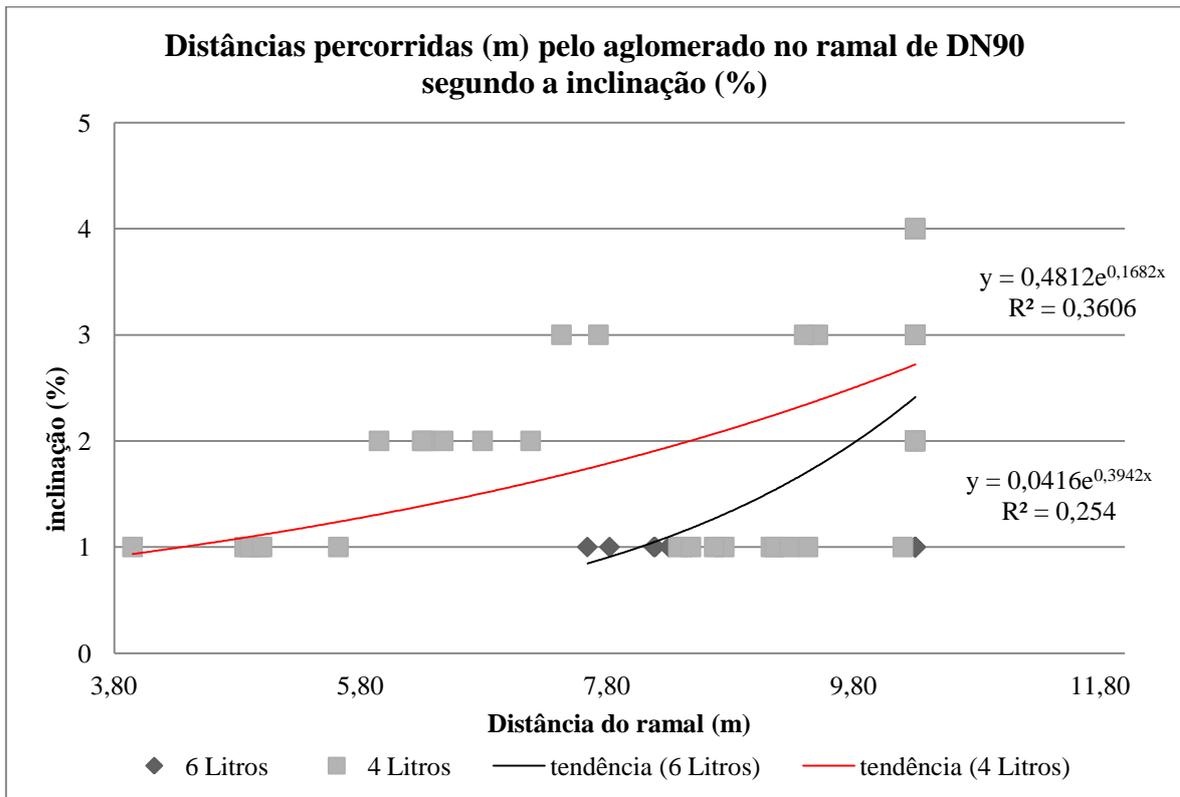


Gráfico 2. Distâncias percorridas (m) pelo aglomerado no ramal de DN90 segundo a inclinação (%)

Deve notar-se, todavia, que os coeficientes de correlações obtidos são mais baixos para os resultados das distâncias no ramal de DN90.

5.4.3. Análise da influência do papel higiênico

Os ensaios mostraram resultados interessantes acerca da influência do papel higiênico. Quando este se encontra dentro de certos limites contribui para um melhor desempenho na limpeza dos sólidos, tanto no seu processo de evacuação da sanita como na limpeza do ramal.

Na fase inicial, no processo de evacuação dos sólidos da sanita, o papel mostrou ter um ótimo poder de limpeza. Contudo, o seu excesso pode levar também ao entupimento na passagem pelo sifão da sanita. Ainda nesta fase, as diferenças entre o tipo de papel não são

muito evidentes, pois o tipo de papel aparentou ter mais diferença quando saturado, o que não acontece a toda a quantidade de papel que é lançada na sanita, até se dar a descarga.

O efeito do tipo de papel mostrou ter mais influência no escoamento do ramal, na medida em que, por estar saturado, vai ter mais ou menos influência na criação da fronteira sólida que serve de plano de impacto da água para o transporte do aglomerado. No ramal de drenagem, quanto maior for a gramagem melhor será esta superfície de impacto. Pelo contrário, um papel de menor gramagem tende a desfazer-se quando saturado.

O efeito do papel vai também diferir em ambos os ramais, pois no ramal de DN90 o atrito com as paredes do tubo tende a ser maior, quanto maior for a gramagem, devido à maior capacidade de saturação deste papel, mas isto não se verificou em todos os casos. No ramal de DN110 este efeito foi mais variável pois, como o ramal tem diâmetro maior, a configuração do aglomerado vai também variar mais pelo que uma parte do papel tende a ser transportada à frente dos sólidos o que acaba por não criar a devida superfície para o impacto da água.

A Tabela 12 resume as distâncias médias percorridas no ramal, afetadas pelos respetivos comprimentos, nas várias inclinações face às diferentes gramagens de papel higiénico.

Tabela 12. Efeito dos diferentes tipos de papel higiénico no arrastamento dos sólidos

DN (mm)	Distância do ramal (m)	Gramagem do papel (g)	Peso dos provetes (g)	Distância percorrida (m)
90	10,3	7,13	100	10,18
		13,81		10,15
		0,00		10,10
110	10,5	7,13	100	9,43
		13,81		9,90
		0,00		9,89
90	10,3	7,13	160	8,66
		13,81		8,79
110	10,5	7,13	160	8,42
		13,81		8,67

A análise da tabela anterior indica que o efeito do papel é tanto mais regular quanto maior o peso e volume dos sólidos e isto deve-se, em relação a pesos de sólidos inferiores,

ao facto de que a configuração do aglomerado é mais regular quando o peso e volume dos sólidos for maior, pois o papel higiénico tem mais dificuldade a conduzir-se para a frente dos sólidos.

5.4.4. Análise do efeito da 2ª descarga

A 2ª descarga nem sempre foi necessária para limpar o ramal. Nos casos em que há retenção de sólidos no ramal, a 2ª descarga teve melhor desempenho no ramal de DN90, onde a velocidade é maior o que perfaz uma maior força de arrastamento.

O facto dos sólidos, nesse ramal, deixarem menos área transversal desocupada tem também influência neste efeito. Um volume de descarga maior, bem como a inclinação também tiveram melhor efeito no arrastamento na 2ª descarga, que teve maus resultados no ramal de DN110.

Em geral, os resultados mais positivos foram os dos ensaios onde o peso dos sólidos era menor, mas o que mais se distinguiu foram os resultados da 2ª descarga nas descargas onde não se usou papel higiénico, Figura 36. Nestes casos, para um volume de descarga de 4 l a 2ª descarga só limpou o ramal para a inclinação de 4% no ramal de DN110, face a sólidos com apenas 100 g, e a situação foi ainda mais desfavorável face a 160 g. No ramal de DN90 a 2ª descarga foi muito mais eficaz, mas o ramal não foi limpo quando se usaram sólidos de 160 g para a inclinação de 1%, tanto na descarga de 6 l como na de 4 l.



Figura 36. Deposição do aglomerado sólido no ramal, sem papel higiénico, antes da 2ª descarga

Como se verifica na Figura 36, a água atrás do aglomerado sem papel, tende a passar ao lado do aglomerado por este não ter uma área transversal suficientemente capaz de reter a água.

Nestes ensaios observou-se um fenómeno de refluxo que se verificou no ramal de DN90, tanto na descarga de 4 l como na de 6 l, face a uma inclinação de 1%.

5.5. Análise do caudal e velocidade média de escoamento no ramal

5.5.1. Análise do caudal médio de escoamento no ramal

O caudal de escoamento é, em ambas as normas consideradas, o principal parâmetro para o dimensionamento dos ramais de descarga.

Apesar dos caudais calculados, analiticamente, não envolverem variáveis como o declive ou a inclinação do ramal, os valores dos caudais obtidos em ambos os ramais de descarga podem ser analisados entre si, Gráfico 3.

Os caudais obtidos em ambos os diâmetros mostram um grande peso desse parâmetro no valor final, e foi no ramal com diâmetro de DN110 que se obtiveram os maiores valores

de caudal para descarga de 6 l e descarga de 4 l. De uma forma geral, o caudal médio variou aproximadamente entre 0,3 l/s a 1,3 l/s.

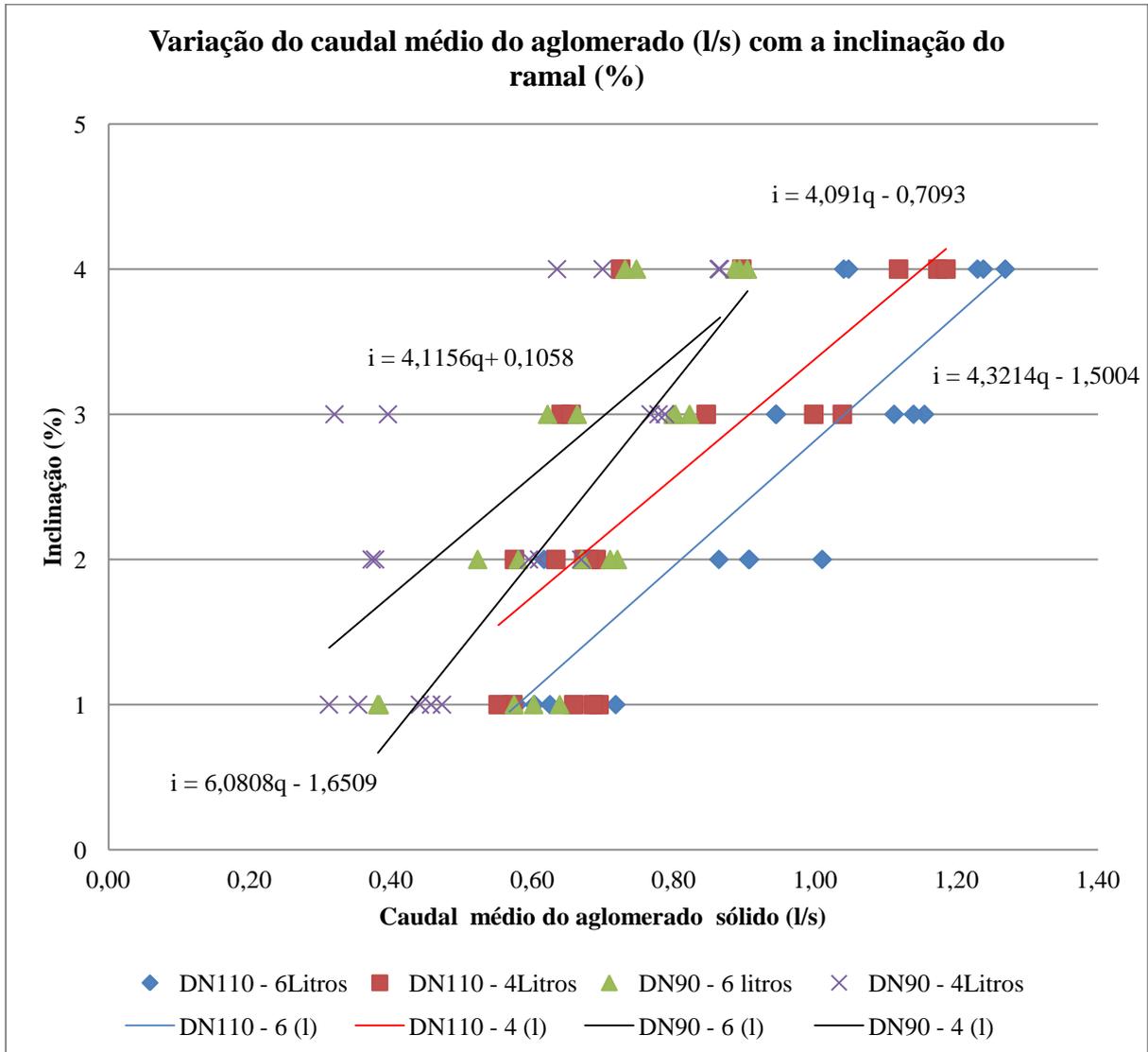


Gráfico 3. Variação do caudal médio do aglomerado (l/s) com a variação da inclinação do ramal (%)

5.5.2. Análise da velocidade média de escoamento no ramal

A velocidade, apesar de se relacionar proporcionalmente com o caudal, vai variar os respetivos valores em função do diâmetro do ramal. Neste sentido, procedeu-se a uma

análise das velocidades, de modo a compará-las no ramal de DN110 e no de DN90, para os volumes de descarga de 6 l e de 4 l, respetivamente. Ao contrário do caudal, a discrepância entre os valores da velocidade média do aglomerado em ambos os ramais é menor.

No ramal de DN110 foi onde as velocidades foram mais constantes, variando aproximadamente entre 0,6 m/s e 1,35 m/s (Gráfico 4).

Já no ramal de DN90 a variação foi aproximadamente entre 0,45 m/s a 1,45 m/s, (Gráfico 5).

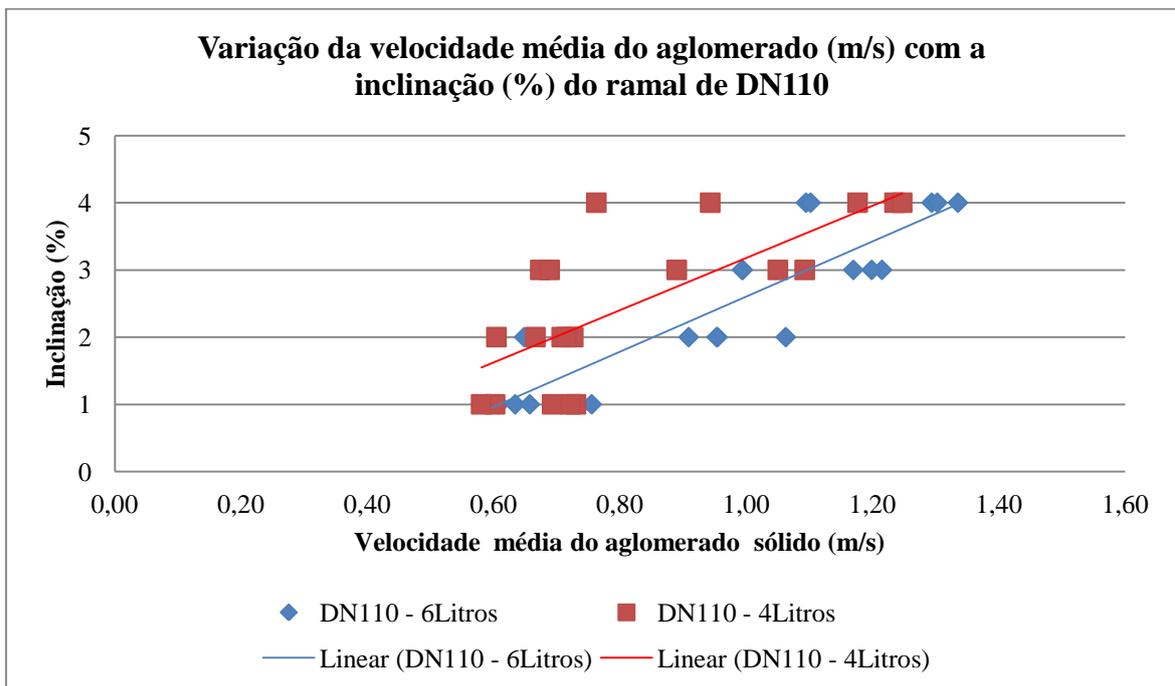


Gráfico 4. Variação da velocidade média do aglomerado (m/s) com a inclinação (%) do ramal de DN110

A velocidade média do aglomerado é importante, na medida que se verificou que maiores velocidades tinham melhor efeito de arrastamento do aglomerado sólido no ramal.

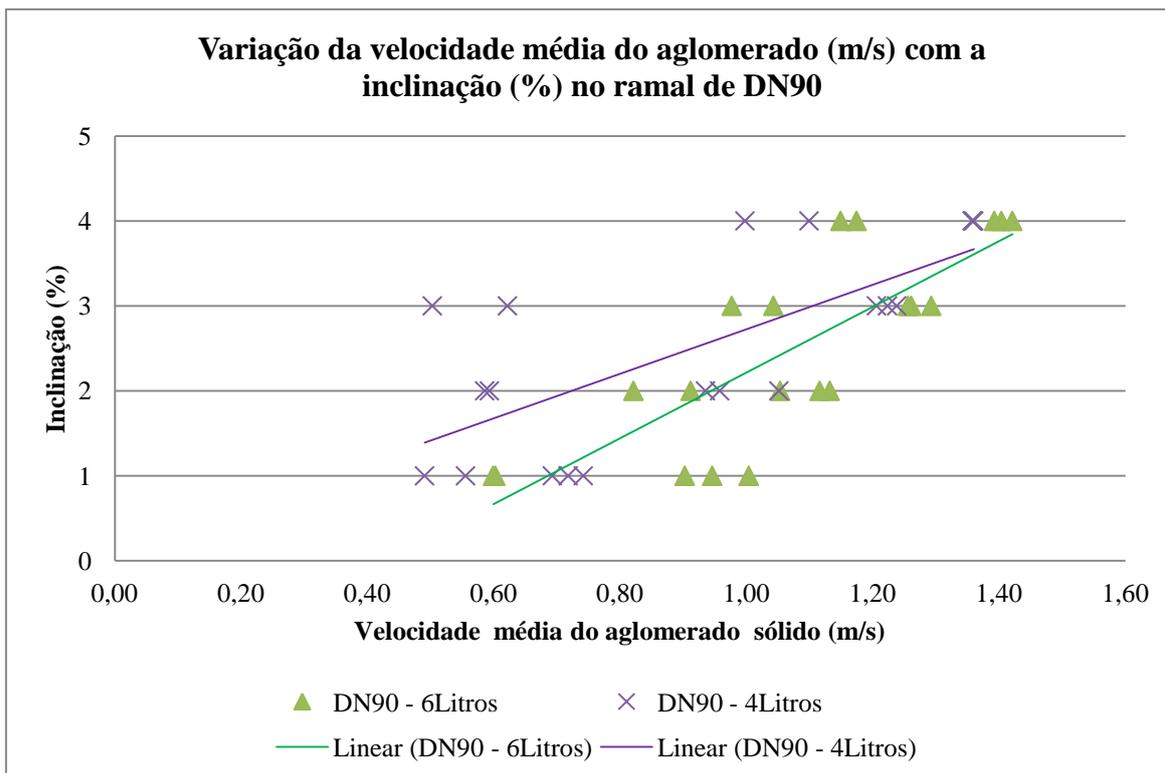


Gráfico 5. Variação da velocidade média do aglomerado (m/s) com a inclinação (%) no ramal de DN90

5.5.3. Análise à influência do volume de descarga segundo a velocidade

Já se viu a influência do volume de descarga, com recursos às distâncias percorridas, tem um peso muito importante na limpeza dos sólidos no ramal. Analisando o seu efeito com recurso às velocidades médias dos sólidos no ramal, para os volumes de descarga ensaiados, segundo o mesmo diâmetro, para as quatro inclinações, verifica-se que a variação de velocidade no ramal, segundo os dois volumes experimentados, é maior para o volume de 6 l, sendo a diferença em relação ao volume de 4 l de 19,3% no ramal de DN110 foi de 23,4% no ramal de DN90, Tabela 13.

Tabela 13. Relação entre as velocidades dos volumes de descarga ensaiados no ramal de DN110 e de DN90

Diâmetro	Razão do volume	1%	2%	3%	4%	Média
DN110	6/4 Litros (%)	1,7	-32,4	-29,9	-16,6	-19,3
DN90	6/4 Litros (%)	-25,6	-26,2	-35,2	-6,5	-23,4

5.5.4. Análise à influência do diâmetro segundo a velocidade

Analisando o efeito do diâmetro ramal com recursos às velocidades médias dos sólidos os diâmetros do ramal ensaiados, segundo o mesmo volume, para as quatro inclinações, verifica-se que a variação de velocidade no ramal é maior para um volume de 6 l. A relação entre as velocidades nos dois diâmetros para uma descarga de 6 l é de 9,1% e em relação a uma descarga de 4 l é de 5,6%, sendo o ramal de DN90 o que apresenta relações de velocidade mais elevadas (Tabela 14).

Tabela 14. Relação entre as velocidades para os diâmetros do ramal ensaiados aquando uma descarga de 6 l e 4 l

Volume	Razão do diâmetro	1%	2%	3%	4%	Média
6 Litros	DN110/90 (%)	16,3	9,6	4,2	6,2	9,1
4 Litros	DN110/90 (%)	-5,3	13,0	1,4	13,4	5,6

5.6. Comentários e conclusões

Dada a inexistência de ensaios normalizados para avaliar os escoamentos nos ramais de drenagem, teve que se proceder a ensaios de teste tanto a nível do sistema de drenagem como a nível dos provetes de ensaios, para se autenticar o próprio sistema e criar um procedimento de ensaio que avalie o transporte dos sólidos no ramal. Estas experiências ditaram as características de algumas variáveis e, pelo seu carácter prático, constituíram importantes bases para os ensaios que se pretendiam realizar.

Após a construção do sistema e feitas as primeiras descargas, de pronto se verificou que erros de construção associados à execução desse sistema são decisivos no seu funcionamento. A deficiente união do ramal, entre dois troços retilíneos, foi o erro mais grave que se verificou, na medida que a mínima folga nessa secção constituía, não somente um ponto de fuga de água, como um ponto de paragem dos sólidos. Neste ponto tende também a sedimentar o papel higiénico e como a matéria fecal artificial não era degradável, não se pôde comprovar esse efeito, que tenderá a ser análogo ao do papel, Figura 37.



Figura 37. Deficiente união do ramal entre dois troços retilíneos

A união entre troços através de ligações de 90° , quando mal executada, tende também a ter esse efeito, principalmente no que se refere a fugas de água. A execução deste tipo de ligações deve também prever um apoio na base, pois a força do impacto da água e do aglomerado poderá, ao longo da vida útil do sistema, causar graves danos. Do mesmo modo, a falta de apoio na união do ramal entre dois troços retilíneos poderá originar uma inversão de declive nesse ponto, que tem igualmente consequências muito graves no escoamento, Figura 38.

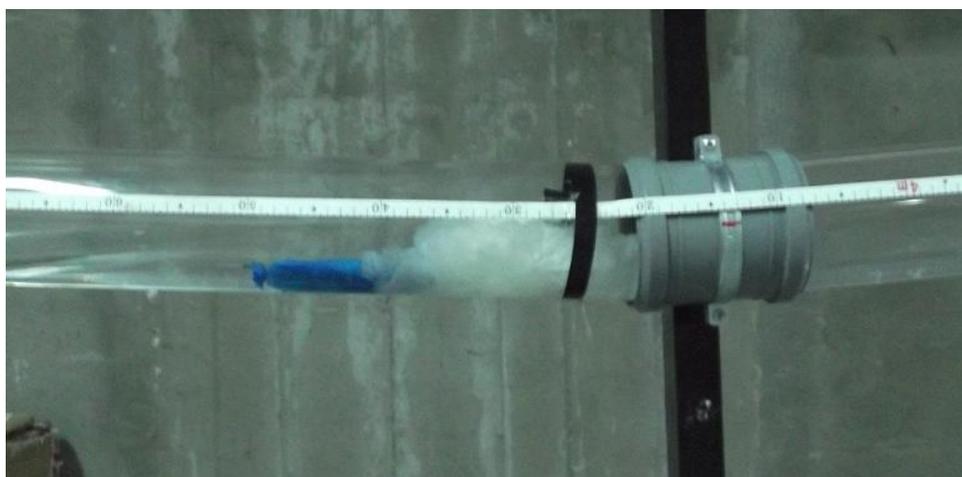


Figura 38. Inversão da inclinação na secção de união entre dois troços retilíneos

Ao nível dos provetes, que simularam a matéria fecal, a sua execução teve que ser cuidada e foi, em geral, morosa, e por isto recorreu-se à gelatina em vez de água (como na NP EN 997), pois os provetes de gelatina apresentaram maior resistência e durabilidade.

Em relação à matéria fecal artificial utilizada foi comprovada, noutras experiências, que tende a apresentar piores resultados no ramal, quando comparada a outros tipos de provetes, nomeadamente com provetes realizados com matéria orgânica, que mais se assemelham à matéria fecal (Cummings, n.d.), o que perfaz boas perspectivas para os resultados com os provetes ensaiados.

Após verificada a conformidade do sistema, realizaram-se os ensaios de análise do escoamento que não tiveram dificuldades acrescidas, embora tivessem que ser executados com eficácia no que respeita ao cumprimento dos tempos no lançamento do papel e na cronometragem do tempo de paragem ou de saída pelo ramal.

A análise dos ensaios foi realizada através de vários pontos de vista, mas a distância percorrida no ramal acabou por ser a que mais conclusões forneceu. Analisou-se o escoamento ainda do ponto de vista das velocidades médias e do caudal médio, o que não gerou conclusões significativas.

Contudo, a análise das velocidades foi em parte pertinente, pois observou-se uma certa relação com as distâncias percorridas no ramal. O papel higiénico é que constituiu um caso particular de interesse devido à influência que gerou, não só no processo de escoamento do ramal, como também no processo de limpeza dos sólidos na sanita.

Relativamente aos ensaios que pretendiam eliminar o aglomerado numa 2ª descarga, viu-se que nem sempre esta era eficiente, mas reteve-se o processo de refluxo que deverá ser alvo de uma análise cuidada.

Em termos gerais, face às variáveis dependentes testadas, pode-se afirmar que o volume de descarga foi a componente que mais influenciou o escoamento, seguida da inclinação e do diâmetro do ramal, devendo notar-se que a ordem inversa seria desejável, tanto a nível sustentável como construtivo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões gerais

A questão da eficiência hídrica nos autoclismos é realmente um assunto que merece atenção particular. No consumo doméstico, as descargas de autoclismos têm um grande peso nos consumos de água e este aspeto não é menos importante nas instalações coletivas, comerciais e industriais.

Em Portugal existem ainda inúmeras habitações com autoclismos tradicionais que têm capacidades que variam entre os 7 l e os 15 l por descarga, sendo a média a rondar os 9 l. Supondo uma média de 4 utilizações diárias, o consumo associado a estes dispositivos pode variar de 28 l a 60 l de água por indivíduo, respetivamente.

A recorrência a autoclismos eficientes, no caso de autoclismos com dupla descarga de 6/3 l reduz o consumo, considerando uma descarga total e três descargas parciais, para 15 l/dia e este valor é ainda mais reduzido com os autoclismos de 4/2 l, com um consumo de 10 l diários por indivíduo.

A diferença nos consumos, mesmo entre autoclismos eficientes, ficou comprovada nas experiências desta dissertação. Exemplo disto foi o volume de água utilizado, em descargas totais, aquando da utilização de autoclismo de 6 l, que fez um total de 720 l, enquanto que na utilização de autoclismos de 4 l o volume total de água utilizada foi de 480 l.

É de realçar que, numa habitação, o número de autoclismos é normalmente superior à unidade, e embora isto não dite um maior consumo por necessidades fisiológicas, haverá maior probabilidade de perdas resultantes de fugas e desperdícios, e este valor tende a ser maior quanto maior for o volume de água de descarga do autoclismo. A má utilização do autoclismo derivada, por exemplo, de despejos de outros resíduos sólidos na sanita, defeituosa utilização do manípulo de descarga ou da tentativa de poupança de água com a introdução de objetos com volume, que possam interferir com os mecanismos interiores, pode ter consequências em fugas devido a estanquidade deficiente do aparelho.

A utilização de autoclismos eficientes, nomeadamente de 6/3 l, têm eficácia comprovada noutros países e mostram reduções significativas na redução de água, que variam entre 20% e 50%.

Comprovou-se que os autoclismos de 4 l, embora tenham um desempenho inferior ao nível do arrastamento de sólidos no ramal, não são menos eficazes no que diz respeito ao cumprimento de alguns requisitos mínimos. Estes revelaram, por exemplo, um bom poder de limpeza face às limitações impostas pelo Sistema I da NP EN 12056-2, ao limpar o ramal em pelo menos 4 m do seu comprimento, com uma curva de 90°. Considerando as questões de investimento financeiro, na substituição de um autoclismo de alto volume de descarga por um sustentável, o retorno é normalmente atingido até 3 anos (LNEC, 2001), podendo este ser mais rápido aquando da adoção de autoclismos de 4 l de descarga total.

Ao nível do procedimento prático, as experiências permitiram perceber que o arrastamento dos sólidos no ramal de drenagem é um facto de difícil análise, pois além das variáveis inerentes ao sistema de drenagem, as variáveis independentes vão condicioná-lo desde o seu lançamento na sanita e da consequente saída pelo sifão da sanita.

O processo mais comum de escoamento do aglomerado, dá-se a partir da impulsão da água descarregada, a montante do aglomerado, que o empurra perpendicularmente à secção transversal, conduzindo-o para jusante do tubo ou ramal de drenagem. Este arrastamento é também influenciado pelo próprio peso do aglomerado, pela forma e área da secção transversal que se vão relacionar com as propriedades do sistema de drenagem, volume de água descarregada, diâmetro e inclinação do ramal.

Tecnicamente observou-se que o recurso a autoclismos eficientes é viável, contudo terá que “jogar” com duas importantes variáveis: a inclinação e o diâmetro do ramal.

A inclinação foi uma componente com muita influência, tendo-se utilizado valores elevados, como de 4%. A inclinação de um ramal está sempre influenciada pela distância do ramal e dimensões dos elementos arquitetónicos onde se localiza, o que conduz à preferência por inclinações menores.

Os valores mais favoráveis na distância de arrastamento foram melhores quanto maior a inclinação. Segundo este sistema de drenagem, os valores para 1% de inclinação são aceitáveis quando o ramal é de DN90, numa descarga de 6 litros. Numa descarga de 4 litros, as distâncias de arrastamento são aceitáveis apenas para inclinações com um mínimo de 2%, num ramal de DN90.

O diâmetro do ramal, em comparação com a inclinação, é um parâmetro cuja variação traduz menos limitações na realização da rede de drenagem. A maior limitação de um

ramal com diâmetros de caibre inferior prende-se com a frequência de utilização e número de ligações ao mesmo ramal, que pode gerar obstruções.

Os melhores resultados na distância de arrastamento foram no ramal de DN90. Isto explica-se devido ao caudal gerar mais impulso, quanto menor for o diâmetro. Outro fator é a perda de água, para jusante, ao longo do ramal que tende a passar ao lado do aglomerado.

O aglomerado, ou a forma como os sólidos se dispõem no ramal, que tendem ganhar a forma do tubo, é um fator importante no arrastamento. O peso do aglomerado gera uma força de atrito que atua contra o impulso, que é tanto maior quanto maior for a área transversal em contacto com a água a montante. Isto comprovou-se pelas menores distância percorridas pelos sólidos sem papel higiénico, em relação às dos sólidos com papel.

O uso de papel higiénico, dentro de um determinado limite, é muito benéfico para o arrastamento de sólidos no ramal. Maiores gramagens e quantidades de papel são mais benéficas quanto maior for o diâmetro do ramal.

Constatou-se que o papel de menor gramagem, por ter uma consistência mais fraca, teve piores resultados no arrastamento face a um maior peso dos sólidos. Em geral, nos ramais de menor diâmetro, o papel tende a criar mais atrito com as paredes do ramal.

O arrastamento de sólidos poderá ser condicionado por erros de execução da rede de drenagem, como se comprovou nas experiências. Num local com união da tubagem, aquando da existência de uma folga, poderá haver sedimentação dos sólidos que vão obstruir o escoamento. A diminuição do declive na união de dois tubos, causa outro ponto de desaceleração propício à paragem do aglomerado.

Face às variáveis ensaiadas, podem-se idealizar dois tipos de sistemas de drenagem que melhor se adequariam a diferentes volumes de autoclismo, diâmetros e inclinações do ramal. Seja então o sistema A, a ser aplicado numa habitação e um sistema B com aplicação em sistemas de drenagem com uso coletivo.

Os ensaios revelaram que, para o sistema A, o melhor ramal seria composto por um tubo de DN90 com inclinações na ordem dos 2% e com um comprimento aproximado de 4 m com o máximo de uma curva de 90°, ao qual seria viável associar um autoclismo de 4 l.

Em relação ao sistema B, a implementar num edifício de uso público, seria mais factível que o ramal fosse constituído por um tubo de DN110, com inclinações entre 1 e 2%, ao qual se associaria um autoclismo de 6 l.

A diferença nos dois tipos de sistemas relaciona-se com questões de higiene ao nível do volume de descarga e ao nível do diâmetro do tubo, devido à frequência de utilização, ao risco de obstrução e ao número de ligações ao mesmo ramal, que tendem a ser superiores em locais associados ao sistema B.

6.2. Propostas de trabalhos futuros

Dado que eficiência hídrica no ciclo predial tende ser, com razão, um imperativo de sustentabilidade, é necessária a continuação de investigações nesta área, com os objetivos semelhantes aos desta dissertação.

Visto que a tendência é reduzir o consumo de água é fundamental continuar a analisar o escoamento nos ramais de drenagem com autoclismos com menores volumes de descarga, por razões de higiene e saúde. Com base no sistema de drenagem e nos ensaios realizados nesta dissertação, seriam importantes estudos relacionados que acrescentassem:

- Novas variáveis no ramal de drenagem, como diferentes inclinações do ramal, diferentes configurações do mesmo (introdução de mais curvas de 90° e outras de 45°), adição de outras ligações ao ramal (ramal de drenagem não individual) e novo tamanho de diâmetro (DN100, intermédio aos utilizados, existente por exemplo no ferro fundido);

- Medições do caudal e velocidade de descarga após a entrada da água no vaso sanitário;

- Medições do caudal e velocidade na entrada do ramal de drenagem.

As experiências realizadas sugeriram ainda a criação de provetes específicos para este tipo de ensaios, constituídos por matéria orgânica para uma melhor representação da matéria fecal.

O processo de conformidade do conjunto autoclismo-sanita, segundo a NP EN 997, carece de melhorias através de novos processos de avaliação. Seria também pertinente a avaliação destes conjuntos relativamente à performance no ramal, de modo a complementar informações face às categorias de certificação de eficiência hídrica,

atribuídas pela ANQIP. Assim, além da avaliação da eficiência hídrica, seriam fornecidas informações sobre o desempenho nos ramais dos principais conjuntos de modelos de autoclismos e sanitas disponíveis no mercado.

Por fim, seria interessante, analisar o desempenho, no ramal, da água proveniente de novos autoclismos que usam águas cinzentas para descarga, dado que a densidade e composição dessas águas poderá reagir de forma diferente com o aglomerado sólido ao longo do ramal de descarga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cheng, C. L., He, K. C., Liao, W. L., Hsieh, C. H., & Liu, Y. C. (2011). Simulation of solid transportation and regulation for main drain system in Taiwan. In *CIB W062 – Water Supply and Drainage for Buildings*. Aveiro.
- Cloning human behaviour. (2006). *World Plumbing Review*, 1, 48–52.
- Cummings, S. (n.d.). Operacional performance boundaries in drainage systems. Sydney, Australia.
- Demiriz, M. (2008). How to rank toilet bowls. *Indian Plumbing Today*, (2).
- EN 12056-2 - Gravity drainage systems inside buildings - Part 2: Sanitary pipework, layout and calculation. (2000). Brussels.
- EN 14055:2010 - WC flushing cisterns. (2010). Brussels.
- FH06SEP_DRALIN_01. (n.d.). Retrieved September 16, 2013, from http://hostedmedia.reimanpub.com/TFH/Step-By-Step/FH12JAU_PLUBAT_03.JPG
- FH12JAU_PLUBAT_03. (n.d.). Retrieved September 16, 2013, from http://hostedmedia.reimanpub.com/TFH/Projects/FH06SEP_DRALIN_01.JPG
- Gauley, B., & Koeller, J. (2005). *Evaluation of Water - Efficient Toilet Technologies to Carry Waste in Drainlines*. Canada.
- Gauley, B., & Koeller, J. (2009). *Maximum Performance (MaP) - Testing of Popular Toilet Models*.
- Gleick, P. H. (1998). Water in crisis: Paths to sustainable water use. *Ecological Applications*, 8(August), 571–579.
- Good system design saves more than water. (2007). *World Plumbing Review*, (2), 70–72.
- Gormley, M. (2011). *Assessment of the impact of low flush volume WCs on building drainage system operation*. Edimburgh, Scotland.
- Gormley, M., & Campbell, D. P. (2006). Modelling water reduction effects: method and implications for horizontal drainage. *Building Research & Information*, 34(2), 131–144. doi:10.1080/09613210500493031
- LNEC (Ed.). (2001). *Programa nacional para o uso eficiente da água*. Lisboa.
- Low-flush toilets need a new approach. (2008). *World Plumbing Review*, (2), 56–58.

- Marques, J., & Sousa, J. (2011). *Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Coimbra.
- NP EN 997:2005 - *Sanitas independentes e conjuntos de sanita e cisterna com sifão incorporado*. (2005). Brussels, Brussels.
- OLI. (2011). *Sistemas de instalação sanitária - Catálogo 2011*.
- Oliveira, L. H. (2007). Bacias sanitárias com sistema dual de descarga: quanto é possível reduzir o consumo de água? *Hydro*, (Março), 66–68.
- Pedroso, V. (2000). *Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas*. (LNEC, Ed.) (edifícios.). Lisboa.
- PERC. (2012). *The Drainline Transport of Solid Waste in Buildings*.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2008a). A implementação da certificação de eficiência hídrica de produtos em Portugal. Uma iniciativa para a sustentabilidade. In *CINCOS'08 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável*. Cúria, Portugal.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2008b). Water efficiency of products: The implementation of certification and labeling measures in Portugal. In *CIB W062 - Water Supply and Drainage for Buildings*. Hong Kong, China.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2010a). Avaliação do impacto global em Portugal da adoção de medidas de eficiência hídrica ao nível dos produtos. In *CINCOS'10 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável* (pp. 47–57). Curia, Portugal.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2010b). Design of water supply and drainage systems in buildings. A reflection about the recent European standardization. In *XXXVIII AHS - World Congress on Housing Science (Design, Technology, Refurbishment and Management of Buildings)* (p. 313). Santander, Espanha.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2012a). Sustentabilidade no ciclo predial da água. Eficiência hídrica e limites de conforto. In *CINCOS'12 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável* (pp. 817–828). Aveiro.
- Pimentel-Rodrigues, C., & Silva-Afonso, A. (2012b). Water efficiency of products. Comfort limits. In *CIB W062 - Water Supply and Drainage for Buildings*. Edinburgh, Scotland.
- Quintela, A. de C. (2007). *Hidráulica* (10th ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- RGSPDADAR. (1995). Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. *Diário da República*.

- Schlunke, A., Lewis, J., & Fane, S. (2008). *Analysis of Australian opportunities for more water-efficient toilets*. Sydney.
- Silva-Afonso, A. (2001). *Apontamentos sobre Instalações Hidráulicas e Prediais - Tomo I - Instalações Prediais de Águas e Esgotos*.
- Silva-Afonso, A. (2008). Repensar o uso da água no ciclo predial. Contributos para a sustentabilidade. In *CINCOS'08 – Congresso de Inovação na Construção Sustentável*. Cúria, Portugal.
- Swaffield, J. A. (2009). Dry drains: myth, reality or impediment to water.
- Swaffield, J. A., & Mcdougall, J. A. (2006). The transport of deformable solids at low flush volumes within building drainage networks (Vol. i, pp. 1–12).
- Testing times “Down under.” (2007). *World Plumbing Review*, (1), 16–19.
- UNESCO (Ed.). (2012). *The United Nations World Water Development Report 4* (Vol. 1). Paris.
- Valsir (Ed.). (2009). *Sistemas de drenagem para edifícios* (L02–400/0 ed.). Brescia, Itália.
- Wyman, J. B., Heaton, K. W., Manning, A. P., & Wicks, A. C. B. (1978). Variability of colonic function in healthy subjects. *Gut*, 19(2), 146–50.

Anexos

Anexo 1

Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN110 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 6 litros

Inclinação (%)	Diâmetro nominal (mm)	Volume (l)	Gramagem do papel (g)	Sólidos (g)	Resultados da 1ª descarga								Resultados da 2ª descarga							
					Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	U (m/s)	U _{médio} (m/s)	Q (l/s)	Q _{médio} (l/s)	Limpa na 1ª descarga	Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	Diferença anterior (m)	Diferença posterior (m)	Limpa na 2ª descarga	Diferença efetiva anterior (m)	Diferença efetiva posterior (m)
1	110	6	0,00	100	10,34	9,35	10,11	0,77	0,76	0,73	0,72	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,5	0,16	0,39	LIMPA	NA	NA
	110	6	0,00	100	8,96		9,19	0,78		0,74		NÃO LIMPA	10,5		10,5	1,54	1,31	LIMPA	NA	NA
	110	6	0,00	100	8,74		8,99	0,72		0,68		NÃO LIMPA	10,5		10,5	1,76	1,51	LIMPA	NA	NA
1	110	6	7,13	100	9,49	9,59	9,73	0,60	0,61	0,57	0,58	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,5	1,01	0,77	LIMPA	NA	NA
	110	6	7,13	100	9,67		9,89	0,62		0,59		NÃO LIMPA	10,5		10,5	0,83	0,61	LIMPA	NA	NA
	110	6	7,13	100	9,60		9,75	0,61		0,58		NÃO LIMPA	10,5		10,5	0,9	0,75	LIMPA	NA	NA
1	110	6	13,81	100	9,60	9,67	9,76	0,62	0,63	0,59	0,60	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,5	0,9	0,74	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	100	9,71		9,94	0,64		0,60		NÃO LIMPA	10,5		10,5	0,79	0,56	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	100	9,70		9,85	0,64		0,61		NÃO LIMPA	10,5		10,5	0,8	0,65	LIMPA	NA	NA
1	110	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	110	6	7,13	160	5,88	6,08	6,14	0,60	0,60	0,57	0,57	NÃO LIMPA	9,07	8,88	9,35	3,19	3,21	NÃO LIMPA	3,19	3,21
	110	6	7,13	160	6,00		6,24	0,62		0,58		NÃO LIMPA	8,53		8,76	2,53	2,52	NÃO LIMPA	2,53	2,52
	110	6	7,13	160	6,37		6,53	0,57		0,54		NÃO LIMPA	9,03		9,19	2,66	2,66	NÃO LIMPA	2,66	2,66
1	110	6	13,81	160	7,30	7,32	7,45	0,68	0,66	0,65	0,62	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,50	3,20	3,05	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	160	7,35		7,50	0,65		0,62		NÃO LIMPA	10,5		10,50	3,15	3,00	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	160	7,31		7,51	0,64		0,61		NÃO LIMPA	10,5		10,50	3,19	2,99	LIMPA	NA	NA
2	110	6	0,00	100	10,50	10,50	10,50	0,97	0,95	0,93	0,91	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	0,97		0,93		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	0,91		0,87		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	110	6	7,13	100	10,50	10,50	10,50	1,06	1,06	1,01	1,01	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,09		1,03		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,04		0,99		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	110	6	13,81	100	10,50	10,50	10,50	0,92	0,95	0,88	0,91	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	0,90		0,86		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	1,03		0,98		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	110	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	110	6	7,13	160	9,86	9,95	10,09	0,61	0,65	0,58	0,62	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,50	0,64	0,41	LIMPA	NA	NA
	110	6	7,13	160	9,55		9,76	0,71		0,67		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,95	0,74	LIMPA	NA	NA
	110	6	7,13	160	10,43		10,21	0,63		0,60		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,07	0,29	LIMPA	NA	NA
2	110	6	13,81	160	9,88	9,82	10,03	0,88	0,91	0,84	0,86	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,50	0,62	0,47	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	160	9,75		10,01	0,86		0,81		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,75	0,49	LIMPA	NA	NA
	110	6	13,81	160	9,83		10,05	0,99		0,94		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,67	0,45	LIMPA	NA	NA
3	110	6	0,00	100	10,50	10,50	10,50	1,22	1,22	1,16	1,15	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	1,20		1,14		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	1,23		1,17		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	6	7,13	100	10,50	10,50	10,50	1,19	1,17	1,13	1,11	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,18		1,12		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,14		1,09		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	6	13,81	100	10,50	10,50	10,50	1,18	1,20	1,12	1,14	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	1,22		1,16		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	1,20		1,14		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	6	7,13	160	10,50	10,50	10,50	1,01	0,99	0,96	0,95	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	160	10,50		10,50	0,98		0,93		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	160	10,50		10,50	0,99		0,94		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	6	13,81	160	10,50	10,50	10,50	0,98	0,99	0,93	0,94	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	160	10,50		10,50	1,07		1,02		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	160	10,50		10,50	0,93		0,88		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	0,00	100	10,50	10,50	10,50	1,29	1,29	1,23	1,23	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	1,31		1,24		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	100	10,50		10,50	1,28		1,22		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	7,13	100	10,50	10,50	10,50	1,27	1,30	1,21	1,24	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,37		1,30		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	100	10,50		10,50	1,27		1,21		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	13,81	100	10,50	10,50	10,50	1,35	1,34	1,28	1,27	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	1,36		1,29		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	100	10,50		10,50	1,30		1,23		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	7,13	160	10,50	10,50	10,50	1,04	1,09	0,99	1,04	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	160	10,50		10,50	1,14		1,09		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	7,13	160	10,50		10,50	1,10		1,05		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	6	13,81	160	10,50	10,50	10,50	1,11	1,10	1,06	1,05	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	160	10,50		10,50	1,14		1,08		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	6	13,81	160	10,50		10,50	1,06		1,00		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA

Anexo 2

Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN110 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 4 litros

Inclinação (%)	Diâmetro nominal (mm)	Volume (l)	Gramagem do papel (g)	Sólidos (g)	Resultados da 1ª descarga								Resultados da 2ª descarga								
					Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	U (m/s)	U _{médio} (m/s)	Q (l/s)	Q _{médio} (l/s)	Limpa na 1ª descarga	Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	Diferença anterior (m)	Diferença posterior (m)	Limpa na 2ª descarga	Diferença efetiva anterior (m)	Diferença efetiva posterior (m)	
1	110	4	0,00	100	7,82	7,75	8,07	0,77	0,73	0,73	0,69	NÃO LIMPA	9,6	9,57	9,85	1,78	1,78	NÃO LIMPA	1,78	1,78	
	110	4	0,00	100	8,38		8,59	0,77		0,73		NÃO LIMPA	9,63		9,64	1,25	1,05	NÃO LIMPA	1,25	1,05	
	110	4	0,00	100	7,06		7,28	0,65		0,62		NÃO LIMPA	9,47		9,71	2,41	2,43	NÃO LIMPA	2,41	2,43	
1	110	4	7,13	100	7,48	7,62	7,69	0,73	0,72	0,69	0,69	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,5	3,02	2,81	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	7,28		7,44	0,69		0,66		NÃO LIMPA	10,5		10,5	3,22	3,06	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	8,09		8,21	0,74		0,70		NÃO LIMPA	10,5		10,5	2,41	2,29	LIMPA	NA	NA	
1	110	4	13,81	100	7,78	7,62	8,02	0,67	0,69	0,63	0,66	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,5	2,72	2,48	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	7,51		7,75	0,71		0,68		NÃO LIMPA	10,5		10,5	2,99	2,75	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	7,57		7,70	0,70		0,66		NÃO LIMPA	10,5		10,5	2,93	2,8	LIMPA	NA	NA	
1	110	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	110	4	7,13	160	6,18	5,57	6,35	0,64	0,60	0,61	0,57	NÃO LIMPA	7,97	7,40	8,17	1,79	1,82	NÃO LIMPA	1,79	1,82	
	110	4	7,13	160	6,12		6,34	0,59		0,56		NÃO LIMPA	8,08		8,31	1,96	1,97	NÃO LIMPA	1,96	1,97	
	110	4	7,13	160	4,41		4,59	0,58		0,55		NÃO LIMPA	6,15		6,34	1,74	1,75	NÃO LIMPA	1,74	1,75	
1	110	4	13,81	160	5,58	5,92	5,74	0,49	0,58	0,47	0,55	NÃO LIMPA	7,57	8,00	7,72	1,99	1,98	NÃO LIMPA	1,99	1,98	
	110	4	13,81	160	6,42		6,57	0,61		0,58		NÃO LIMPA	8,24		8,40	1,82	1,83	NÃO LIMPA	1,82	1,83	
	110	4	13,81	160	5,75		5,95	0,64		0,61		NÃO LIMPA	8,18		8,38	2,43	2,43	NÃO LIMPA	2,43	2,43	
2	110	4	0,00	100	7,86	7,69	8,90	0,64	0,71	0,61	0,67	NÃO LIMPA	8,18	7,94	9,31	0,32	0,41	NÃO LIMPA	0,32	0,41	
	110	4	0,00	100	7,23		7,46	0,64		0,61		NÃO LIMPA	7,46		7,70	0,23	0,24	NÃO LIMPA	0,23	0,24	
	110	4	0,00	100	7,99		8,24	0,85		0,81		NÃO LIMPA	8,19		8,62	0,20	0,38	NÃO LIMPA	0,20	0,38	
2	110	4	7,13	100	9,47	9,48	9,71	0,73	0,73	0,70	0,69	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,50	1,03	0,79	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	9,22		9,33	0,74		0,70		NÃO LIMPA	10,5		10,50	1,28	1,17	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	9,75		9,49	0,71		0,67		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,75	1,01	LIMPA	NA	NA	
2	110	4	13,81	100	9,78	9,37	10,00	0,77	0,72	0,73	0,68	NÃO LIMPA	10,5	10,50	10,50	0,72	0,50	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	9,02		9,15	0,67		0,64		NÃO LIMPA	10,5		10,50	1,48	1,35	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	9,30		9,52	0,71		0,67		NÃO LIMPA	10,5		10,50	1,20	0,98	LIMPA	NA	NA	
2	110	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	110	4	7,13	160	6,36	5,97	6,64	0,70	0,67	0,67	0,63	NÃO LIMPA	9,95	10,00	10,22	3,59	3,58	NÃO LIMPA	3,59	3,58	
	110	4	7,13	160	5,59		5,83	0,67		0,63		NÃO LIMPA	9,54		9,60	3,95	3,77	NÃO LIMPA	3,95	3,77	
	110	4	7,13	160	5,96		6,21	0,63		0,60		NÃO LIMPA	10,5		10,50	4,54	4,29	LIMPA	NA	NA	
2	110	4	13,81	160	5,11	5,80	5,26	0,57	0,60	0,54	0,57	NÃO LIMPA	10,33	10,32	10,48	5,22	5,22	NÃO LIMPA	5,22	5,22	
	110	4	13,81	160	5,53		5,79	0,62		0,58		NÃO LIMPA	10,14		10,38	4,61	4,59	NÃO LIMPA	4,61	4,59	
	110	4	13,81	160	6,75		7,11	0,63		0,60		NÃO LIMPA	10,5		10,50	3,75	3,39	LIMPA	NA	NA	
3	110	4	0,00	100	9,32	8,67	9,56	0,94	0,89	0,89	0,85	NÃO LIMPA	10,13	9,34	10,37	0,81	0,81	NÃO LIMPA	0,81	0,81	
	110	4	0,00	100	7,39		7,65	0,84		0,79		NÃO LIMPA	8,2		8,44	0,81	0,79	NÃO LIMPA	0,81	0,79	
	110	4	0,00	100	9,30		9,08	0,90		0,85		NÃO LIMPA	9,69		9,54	0,39	0,46	NÃO LIMPA	0,39	0,46	
3	110	4	7,13	100	10,50	10,50	10,50	1,01	1,09	0,96	1,04	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	10,50		10,50	1,15		1,09		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	10,50		10,50	1,12		1,07		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
3	110	4	13,81	100	10,50	10,50	10,50	1,06	1,05	1,00	1,00	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	10,50		10,50	1,00		0,95		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	10,50		10,50	1,09		1,04		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
3	110	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	110	4	7,13	160	7,90	8,69	7,75	0,69	0,67	0,66	0,64	NÃO LIMPA	10,50	10,50	10,50	2,60	2,75	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	160	8,73		8,91	0,64		0,61		NÃO LIMPA	10,50		10,50	1,77	1,59	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	160	9,43		9,61	0,69		0,66		NÃO LIMPA	10,50		10,50	1,07	0,89	LIMPA	NA	NA	
3	110	4	13,81	160	8,85	8,98	9,00	0,72	0,69	0,68	0,65	NÃO LIMPA	10,50	10,50	10,50	1,65	1,50	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	160	8,60		8,71	0,63		0,60		NÃO LIMPA	10,50		10,50	1,90	1,79	LIMPA	NA	NA	
	110	4	13,81	160	9,50		9,66	0,72		0,68		NÃO LIMPA	10,50		10,50	1,00	0,84	LIMPA	NA	NA	
4	110	4	0,00	100	10,50	10,50	10,50	1,29	1,18	1,23	1,12	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	100	10,50		10,50	1,12		1,07		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	100	10,50		10,50	1,11		1,06		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
4	110	4	7,13	100	10,50	10,50	10,50	1,27	1,23	1,21	1,17	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	10,50		10,50	1,20		1,14		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	7,13	100	10,50		10,50	1,23		1,17		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
4	110	4	13,81	100	10,50	10,50	10,50	1,26	1,25	1,20	1,19	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	10,50		10,50	1,23		1,17		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	13,81	100	10,50		10,50	1,25		1,19		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
4	110	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	110	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	110	4	7,13	160	10,50	10,06	10,50	0,85	0,76	0,81	0,72	LIMPA	NA	10,50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	110	4	7,13	160	9,73		9,99	0,72		0,68		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,77	0,51	LIMPA	NA	NA	
	110	4	7,13	160	9,96		10,16	0,72		0,69		NÃO LIMPA	10,5		10,50	0,54	0,34	LIMPA	NA		

Anexo 3

Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN90 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 6 litros

Inclinação (%)	Diâmetro nominal (mm)	Volume (l)	Gramagem do papel (g)	Sólidos (g)	Resultados da 1ª descarga							Resultados da 2ª descarga										
					Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	U (m/s)	U _{médio} (m/s)	Q (l/s)	Q _{médio} (l/s)	Limpa na 1ª descarga	Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	Diferença anterior (m)	Diferença posterior (m)	Limpa na 2ª descarga	Diferença efetiva anterior (m)	Diferença efetiva posterior (m)		
1	90	6	0,00	100	10,30	10,30	10,30	0,99	1,00	0,63	0,64	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,01		0,64		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,02		0,65		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
1	90	6	7,13	100	10,30	10,30	10,30	0,90	0,90	0,57	0,57	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	7,13	100	10,30		10,30	0,89		0,57		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	7,13	100	10,30		10,30	0,92		0,58		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
1	90	6	13,81	100	10,30	10,30	10,30	0,92	0,95	0,59	0,60	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	13,81	100	10,30		10,30	0,99		0,63		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	13,81	100	10,30		10,30	0,92		0,59		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
1	90	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	1	90	6	7,13	160	8,18	8,10	8,44	0,59	0,60	0,37	0,38	NÃO LIMPA	10,30	10,04	10,30	2,12	1,86	LIMPA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	160	8,48		8,69	0,62		0,40		NÃO LIMPA	10,07		10,27	1,59	1,58	NÃO LIMPA	1,59	1,58	
		90	6	7,13	160	7,64		7,81	0,59		0,38		NÃO LIMPA	9,75		9,94	2,11	2,13	NÃO LIMPA	2,11	2,13	
	1	90	6	13,81	160	7,82	8,10	7,96	0,56	0,60	0,36	0,38	NÃO LIMPA	9,47	9,74	9,61	1,65	1,65	NÃO LIMPA	1,65	1,65	
90		6	13,81	160	8,19	8,46		0,63	0,40		NÃO LIMPA		9,91	10,11		1,72	1,65	NÃO LIMPA	1,72	1,65		
90		6	13,81	160	8,30	8,49		0,61	0,39		NÃO LIMPA		9,85	10,04		1,55	1,55	NÃO LIMPA	1,55	1,55		
2	90	6	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,12	1,13	0,71	0,72	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,12		0,71		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,16		0,74		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2	90	6	7,13	100	10,30	10,30	10,30	1,13	1,12	0,72	0,71	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,11		0,70		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,12		0,71		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	2	90	6	13,81	100	10,30	10,30	10,30	1,12	1,05	0,71	0,67	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	100	10,30	10,30		1,07	0,68		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	100	10,30	10,30		0,97	0,62		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
2	90	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2	90	6	7,13	160	10,30	10,30	10,30	0,79	0,91	0,51	0,58	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	0,99		0,63		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	0,95		0,61		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	2	90	6	13,81	160	10,30	10,30	10,30	0,82	0,82	0,52	0,52	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	160	10,30	10,01		0,80	0,51		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	160	10,30	10,30		0,85	0,54		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
3	90	6	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,36	1,29	0,87	0,82	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,24		0,79		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,28		0,81		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	3	90	6	7,13	100	10,30	10,30	10,30	1,26	1,26	0,80	0,80	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,27		0,81		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,26		0,80		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	3	90	6	13,81	100	10,30	10,30	10,30	1,27	1,26	0,81	0,80	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	100	10,30	10,30		1,26	0,80		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	100	10,30	10,30		1,24	0,79		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
3	90	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	3	90	6	7,13	160	10,30	10,30	10,30	1,06	1,04	0,68	0,66	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	1,05		0,67		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	1,01		0,65		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	3	90	6	13,81	160	10,30	10,30	10,30	0,94	0,98	0,60	0,62	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	160	10,30	10,30		0,99	0,63		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	160	10,30	10,30		0,99	0,63		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
4	90	6	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,45	1,40	0,92	0,89	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,45		0,92		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	100	10,30		10,30	1,31		0,84		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	4	90	6	7,13	100	10,30	10,30	10,30	1,40	1,42	0,89	0,90	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,44		0,92		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	100	10,30		10,30	1,42		0,91		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	4	90	6	13,81	100	10,30	10,30	10,30	1,41	1,39	0,90	0,89	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	100	10,30	10,30		1,38	0,88		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	100	10,30	10,30		1,39	0,88		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
4	90	6	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	90	6	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	4	90	6	7,13	160	10,30	10,30	10,30	1,12	1,17	0,71	0,75	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	1,19		0,75		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
		90	6	7,13	160	10,30		10,30	1,22		0,78		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
	4	90	6	13,81	160	10,30	10,30	10,30	1,06	1,15	0,68	0,73	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90		6	13,81	160	10,30	10,30		1,24	0,79		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		
90		6	13,81	160	10,30	10,30		1,15	0,73		LIMPA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		

Anexo 4

Resultados dos ensaios de análise ao escoamento no ramal de drenagem com DN90 e com um autoclismo eficiente com descarga total de 4 litros

Inclinação (%)	Diâmetro nominal (mm)	Volume (l)	Gramagem do papel (g)	Sólidos (g)	Resultados da 1ª descarga								Resultados da 2ª descarga							
					Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	U (m/s)	U _{médio} (m/s)	Q (l/s)	Q _{médio} (l/s)	Limpa na 1ª descarga	Distância anterior (m)	Distância média anterior (m)	Distância posterior (m)	Diferença anterior (m)	Diferença posterior (m)	Limpa na 2ª descarga	Diferença efetiva anterior (m)	Diferença efetiva posterior (m)
1	90	4	0,00	100	10,20	9,36	10,30	0,74	0,74	0,47	0,47	NÃO LIMPA	10,30	10,30	10,30	0,10	0,00	LIMPA	NA	NA
	90	4	0,00	100	8,75		8,98	0,74		0,47		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,55	1,32	LIMPA	NA	NA
	90	4	0,00	100	9,13		9,36	0,74		0,47		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,17	0,94	LIMPA	NA	NA
1	90	4	7,13	100	9,43	9,09	9,66	0,76	0,69	0,48	0,44	NÃO LIMPA	10,30	10,30	10,30	0,87	0,64	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	100	9,16		9,44	0,70		0,44		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,14	0,86	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	100	8,67		8,94	0,62		0,40		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,63	1,36	LIMPA	NA	NA
1	90	4	13,81	100	9,28	8,71	9,45	0,72	0,72	0,46	0,46	NÃO LIMPA	10,30	10,30	10,30	1,02	0,85	LIMPA	NA	NA
	90	4	13,81	100	8,38		8,61	0,70		0,45		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,92	1,69	LIMPA	NA	NA
	90	4	13,81	100	8,48		8,70	0,73		0,46		NÃO LIMPA	10,30		10,30	1,82	1,60	LIMPA	NA	NA
1	90	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	90	4	7,13	160	4,86	4,91	5,14	0,53	0,49	0,34	0,31	NÃO LIMPA	7,82	7,05	8,08	2,96	2,94	NÃO LIMPA	2,96	2,94
	90	4	7,13	160	4,98		5,14	0,41		0,26		NÃO LIMPA	6,62		6,78	1,64	1,64	NÃO LIMPA	1,64	1,64
	90	4	7,13	160	4,90		5,05	0,53		0,34		NÃO LIMPA	6,7		6,85	1,8	1,8	NÃO LIMPA	1,80	1,80
1	90	4	13,81	160	5,62	4,86	5,77	0,52	0,56	0,33	0,35	NÃO LIMPA	6,96	6,33	7,12	1,34	1,35	NÃO LIMPA	1,34	1,35
	90	4	13,81	160	5,00		5,15	0,62		0,39		NÃO LIMPA	6,44		6,59	1,44	1,44	NÃO LIMPA	1,44	1,44
	90	4	13,81	160	3,95		4,10	0,53		0,34		NÃO LIMPA	5,58		5,73	1,63	1,63	NÃO LIMPA	1,63	1,63
2	90	4	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,11	1,05	0,70	0,67	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	1,11		0,70		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	0,94		0,60		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
2	90	4	7,13	100	10,30	10,30	10,30	0,97	0,94	0,62	0,60	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	0,89		0,57		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	0,94		0,60		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
2	90	4	13,81	100	10,30	10,30	10,30	0,91	0,96	0,58	0,61	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	0,99		0,63		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	0,97		0,62		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
2	90	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
2	90	4	7,13	160	6,79	6,81	6,95	0,63	0,59	0,40	0,38	NÃO LIMPA	10,30	10,30	10,30	3,51	3,35	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	160	7,18		7,34	0,54		0,34		NÃO LIMPA	10,30		10,30	3,12	2,96	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	160	6,47		6,65	0,61		0,39		NÃO LIMPA	10,30		10,30	3,83	3,65	LIMPA	NA	NA
2	90	4	13,81	160	6,32	6,19	6,52	0,59	0,59	0,38	0,37	NÃO LIMPA	10,30	10,30	10,30	3,98	3,78	LIMPA	NA	NA
	90	4	13,81	160	6,30		6,45	0,60		0,38		NÃO LIMPA	10,30		10,30	4,00	3,85	LIMPA	NA	NA
	90	4	13,81	160	5,95		6,20	0,57		0,36		NÃO LIMPA	10,30		10,30	4,35	4,10	LIMPA	NA	NA
3	90	4	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,21	1,21	0,77	0,77	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	1,24		0,79		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	1,17		0,74		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
3	90	4	7,13	100	10,30	10,30	10,30	1,25	1,22	0,80	0,78	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	1,21		0,77		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	1,21		0,77		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
3	90	4	13,81	100	10,30	10,30	10,30	1,20	1,24	0,76	0,79	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	1,25		0,80		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	1,26		0,80		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
3	90	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
3	90	4	7,13	160	9,51	8,22	9,63	0,49	0,50	0,31	0,32	NÃO LIMPA	10,3	10,30	10,30	0,79	0,67	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	160	7,43		7,65	0,53		0,34		NÃO LIMPA	10,3		10,30	2,87	2,65	LIMPA	NA	NA
	90	4	7,13	160	7,73		7,90	0,48		0,31		NÃO LIMPA	10,3		10,30	2,57	2,4	LIMPA	NA	NA
3	90	4	13,81	160	10,30	10,00	10,30	0,59	0,62	0,38	0,40	LIMPA	NA	10,30	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	13,81	160	10,30		10,30	0,68		0,43		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	13,81	160	9,40		9,56	0,60		0,38		NÃO LIMPA	10,3		10,30	0,90	0,74	LIMPA	NA	NA
4	90	4	0,00	100	10,30	10,30	10,30	1,38	1,36	0,88	0,86	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	1,35		0,86		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	100	10,30		10,30	1,34		0,85		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
4	90	4	7,13	100	10,30	10,30	10,30	1,38	1,36	0,88	0,87	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	1,35		0,86		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	7,13	100	10,30		10,30	1,35		0,86		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
4	90	4	13,81	100	10,30	10,30	10,30	1,35	1,36	0,86	0,86	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	1,39		0,88		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	13,81	100	10,30		10,30	1,34		0,85		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
4	90	4	0,00	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	0,00	160	0,00		0,00	0,00		0,00		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
4	90	4	7,13	160	10,30	10,30	10,30	1,03	1,10	0,66	0,70	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	7,13	160	10,30		10,30	1,14		0,72		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	7,13	160	10,30		10,30	1,13		0,72		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
4	90	4	13,81	160	10,30	10,30	10,30	0,97	1,00	0,61	0,63	LIMPA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	90	4	13,81	160	10,30		10,30	0,98		0,62		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	
	90	4	13,81	160	10,30		10,30	1,05		0,67		LIMPA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	