



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Estudo laboratorial sobre o aproveitamento da água da chuva em telhados cerâmicos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Catarina de Oliveira Dinis

Orientador

João Luís Mendes Pedroso de Lima

Alexandre Silveira

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2016

AGRADECIMENTOS

Queria antes de mais, expressar o meu apreço e agradecimento a todos aqueles, que de uma maneira ou outra, contribuíram para a realização desta tese de dissertação.

Ao Professor Doutor João Pedroso de Lima e ao Professor Doutor Alexandre Silveira, por toda a dedicação e orientação, por todo o tempo investido neste trabalho, desde a sua elaboração à sua revisão.

Ao Sr. Joaquim, funcionário do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil, por toda a disponibilidade e colaboração na parte experimental referente aos equipamentos.

A todos os meus colegas e amigos que se disponibilizaram para ajudar nos ensaios laboratoriais, nomeadamente: Ana Rita Carvalho, António Costa, Bruna Pereira, Cátia Bento, Gabriel Silveira, Isabel Valério, Joana Marques e Raquel Vítor e ainda aqueles que mesmo não podendo estar fisicamente presentes fizeram parte de todo este percurso académico.

À minha família, pais, tios e namorado, pela paciência, pelo incentivo e todo o carinho ao longo deste processo de crescimento tanto a nível académico como pessoal.

Finalmente, à minha avó, por me ter ajudado a ser quem sou. Um obrigado muito sincero.

RESUMO

A água é um recurso natural essencial à vida, contudo escasso. Possui deste modo um enorme valor social, económico e ambiental. Atualmente, o desperdício associado a um aumento da procura leva a refletir acerca desta problemática. O aproveitamento da água das chuvas surge como uma maneira eficaz de economizar e aproveitar este recurso, podendo contribuir igualmente para minimizar alguns impactos decorrentes dos fenómenos extremos de precipitação.

O objetivo principal desta tese de dissertação é contribuir para o aproveitamento de águas pluviais, incidindo sobre o estudo da captação de água de telhados cerâmicos, atendendo a aspetos referentes ao transporte de partículas e chuvadas de baixa intensidade.

A metodologia adotada baseou-se na utilização de um sistema de simulação de chuva, em laboratório, e um telhado cerâmico. Os ensaios consistiram essencialmente na geração de chuvas simuladas com posterior medição do escoamento e transporte de partículas. Foi ainda avaliada a importância do declive, utilizando-se 2%, 10% e 20%. No caso das baixas intensidades de precipitação, foi efetuada a medição do escoamento apenas para a declividade de 10%, com a introdução de uma nova componente, a secagem das telhas, efetuada com o auxílio de um ventilador.

Os resultados obtidos demonstram que, em telhados mais inclinados, o escoamento começa mais rápido, terminando conseqüentemente mais cedo. Declividades maiores promovem também maior transporte de partículas. As partículas posicionadas na parte superior do telhado são mais difíceis de remover assim como nos casos em que a sua concentração é mais elevada.

O coeficiente de escoamento aproxima-se de 1,0 para intensidades superiores a 10 mm/h e decresce bruscamente com a diminuição da intensidade de precipitação para intensidades inferiores a 10 mm/h.

ABSTRACT

Water is a natural resource, which is essential to life, although it is scarce. Therefore, it has a great social, economic and environmental value. Nowadays, the waste associated with the increase of demand leads us to think about this issue. Rainwater harvesting appears as an efficient way of saving and taking advantage of this resource, allowing us, at the same time to contribute equally to minimize the impact caused by extreme events of precipitation.

The primary purpose of this dissertation is to contribute to rainwater reuse, focusing on the water collection in ceramic roofs related to the transport of particles and low intensity rainfall events.

The adopted methodology was based on the use of simulated rainfall in laboratory and a ceramic roof. The experiments consisted in the production of the simulated rainfall with the measure of runoff and particles transport. The importance of slope in the roof was also evaluated by using a 2%, 10% and 20% of declivity. For low intensity rainfall, the runoff was measured only for 10%, with an introduction of a new component, the drying of the tiles, made with the support of a ventilator.

Results obtained show that a bigger slope of the roof, makes runoff start earlier and therefore, it also finishes faster. These slopes also promote more transport of particles on the roof. The particles placed on the upper part of the roof are less sustainable to be transported, as well as in the case of a higher concentration of particles in smaller areas.

The runoff coefficient is approximately equal to 1,0 for intensities bigger than 10 mm/h and decreases sharply with the reduction of rainfall intensity for less than 10 mm/h.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	vii
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Aproveitamento da água da chuva.....	3
2.1. Introdução	3
2.2. Sistemas de aproveitamento da água da chuva	6
2.3. Enquadramento legal	10
3. Métodos e Materiais	12
3.1. Introdução	12
3.2. Transporte de partículas em telhados cerâmicos	12
3.2.1. Equipamento e Instalação laboratorial	12
3.2.2. Partículas	13
3.2.3. Chuvada simulada	13
3.2.4. Procedimento laboratorial	16
3.3. Chuvadas de baixa intensidade	17
3.3.1. Equipamento e Instalação laboratorial	17
3.3.2. Chuvada simulada	19
3.3.3. Secagem das telhas	20
3.3.4. Procedimento laboratorial	21
4. Resultados e Discussão.....	24
4.1. Introdução	24
4.2. Transporte de partículas em telhados cerâmicos	24
4.3. Chuvadas de baixa intensidade	30
5. Conclusões.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS.....	A

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1- Sistema de simulação de chuva e telhado cerâmico utilizado em laboratório	13
Figura 3.2- Distribuição espacial da intensidade de precipitação no telhado cerâmico para as inclinações 2%, 10% e 20%	15
Figura 3.3- Configurações da distribuição de partículas posicionadas no telhado cerâmico ...	17
Figura 3.4- Esquema da instalação experimental com sistema de simulação de chuva e ventilador para secagem do telhado cerâmico (médias intensidades)	18
Figura 3.5- Esquema da instalação experimental com sistema de produção de gotas e ventilador para secagem do telhado cerâmico (baixas intensidades)	18
Figura 3.6- Distribuição espacial da intensidade de precipitação na linha em estudo do telhado cerâmico para as médias e baixas intensidades	20
Figura 3.7- Curva de secagem das telhas e respetiva localização das telhas T1,T2,T3 e T4 ...	21
Figura 3.8- Cronograma dos ensaios laboratoriais com períodos de secagem intercalados com chuvadas	22
Figura 3.9- Locais de aplicação das gotas nas telhas para as chuvadas de baixa intensidade	22
Figura 4.1- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para as inclinações de 20%, 10% e 2%	24
Figura 4.2- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para a inclinação de 20%, 10% e 2% e para as várias configurações com as partículas	25
Figura 4.3- Massa das partículas obtida em função do tempo para as diferentes configurações para todas as declividades	26
Figura 4.4- Massa das partículas obtida em função do tempo para as diferentes configurações e para as três inclinações do telhado	27
Figura 4.5- Percentagem de partículas transportadas e não removidas no telhado cerâmico para todas as configurações e declividades	28
Figura 4.6- Hidrogramas médios do escoamento superficial do telhado cerâmico para as médias (acima) e baixas (abaixo) intensidades	30
Figura 4.7- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para as médias intensidades de precipitação, obtidas através do simulador	31
Figura 4.8- Hidrograma de escoamento superficial do telhado cerâmico para as 8 baixas intensidades de precipitação, obtidas através do sistema de produção de gotas	32

Figura 4.9- Coeficiente de escoamento médio em função da intensidade de precipitação	34
Figura 4.10- Tempo de início de escoamento, caudal de ponta e coeficiente de escoamento em função da intensidade de precipitação para as três chuvadas	34
Figura 4.11- Correlação entre o coeficiente de escoamento e o caudal de ponta para chuvadas com várias intensidades de precipitação	35
Figura A.1- Curva granulométrica das partículas e respetiva fotografia da sua distribuição na amostra	A-1
Figura C.1- Distribuição espacial das intensidades de precipitação em cada telha da linha do telhado cerâmico para todas as intensidades	C-1

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1- Distribuição das intensidades de precipitação em mm/h no telhado cerâmico para as inclinações de 2%,10% e 20% e respetiva fotografia do ensaio	14
Quadro 3.2- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtido para as diversas intensidades de precipitação realizadas com o simulador e o sistema de produção de gotas	19
Quadro 4.1- Volume médio escoado e precipitado, coeficiente de escoamento e respetiva intensidade de precipitação	33
Quadro B.1- Dados dos hidrogramas da média do caudal em função do tempo para as três inclinações com respetivo desvio padrão	B-1
Quadro B.2- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 2% para todas as configurações	B-1
Quadro B.3- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 10% para todas as configurações	B-2
Quadro B.4- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 20% para todas as configurações	B-2
Quadro B.5- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 2% para todas as configurações	B-3
Quadro B.6- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 10% para todas as configurações	B-3
Quadro B.7- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 20% para todas as configurações	B-4
Quadro B.8- Dados da massa transportada e não removida e respetiva percentagem para todas as inclinações e configurações	B-4
Quadro C.1- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 61,58 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-1
Quadro C.2- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 34,22 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-2
Quadro C.3- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 12,82 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-2
Quadro C.4- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 1,98 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-3

Quadro C.5- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 2,93 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-3
Quadro C.6- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 3,91 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-4
Quadro C.7- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 5,02 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-5
Quadro C.8- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 5,90 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-6
Quadro C.9- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 9,92 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão	C-7

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 4.1- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF1 e declividades 2% e 10%	29
Fotografia B.1- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF2 e declividades 2% e 10%	B-5
Fotografia B.2- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF3 e declividades 2% e 10%	B-5
Fotografia B.3- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF4 e declividades 2% e 10%	B-6
Fotografia B.4- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF5 e declividades 2% e 10%	B-6

1. Introdução

A água é o bem mais imprescindível do planeta. Deste modo é cada vez mais uma preocupação preservá-la e geri-la de forma sustentável. A água é essencial em diversos setores como o económico, o da saúde, da agricultura, do ambiente e o que leva a políticas de gestão exigentes. Durante muitos anos acreditava-se que a água era um recurso infinito e por essa razão o seu uso era desmedido e não racional. O rápido crescimento demográfico aliado ao avanço tecnológico sem preocupações ambientais levou a que muitos recursos naturais fossem ameaçados.

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) cerca de 40% da população mundial reside em bacias demográficas sob efeito de pressão hídrica e 748 milhões de pessoas não possuem ainda acesso a água potável. Neste sentido são cada vez mais as iniciativas e medidas que são implementadas para poupar água e sobretudo recuperá-la. Uma gestão integrada dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento socioeconómico da sociedade.

O crescimento económico e demográfico trouxe consigo novos desafios para a humanidade, a poluição ambiental, que é uma das consequências da ação humana que mais se destaca na nossa sociedade. A Organização Mundial das Nações Unidas (ONU) estima que, em 2050, mais 2,7 biliões de pessoas possam viver em pobreza devido aos problemas ambientais. Desta forma, é necessário avaliar os seus impactes nas diversas atividades.

As alterações climáticas são decorrentes de fatores antrópicos ou naturais e são a principal causa para as mudanças drásticas que se fazem sentir no planeta. Os fenómenos naturais são cada vez mais extremos, intensos e frequentes, como por exemplo as altas ou baixas intensidades de precipitação, cada vez menos possíveis de prever. A água é um elemento central presente em muitos destes desastres naturais, seja por ser excessiva (cheias) ou escassa (secas).

Devido a todas as frequentes transformações que o planeta Terra sofre, o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis surge no contexto das novas medidas de poupança de água, contribuindo igualmente para a minimização de problemas de cheias. Permite ainda a redução da pegada hídrica, ou seja, a quantidade de água consumida pela população para bens e serviços.

Esta técnica é utilizada em muitos países como Alemanha, Brasil, Estados Unidos. Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem ser implementados em edifícios e a água pode ser usada para descargas de autoclismo, lavagem de pavimentos, rega de jardins, entre outros. Contudo, em Portugal, ainda não possui grande expressão, apesar de começar a ser cada vez mais implementada e referida em planos nacionais; ainda não existe legislação nacional específica para o uso de água da chuva, contrariamente a outros países em que é uma atividade já legislada.

A qualidade da água da chuva está fortemente associada à poluição atmosférica e ao tipo de cobertura onde é captada, contudo com um processo de tratamento simples pode ser usada para todos os fins não potáveis. Os estudos de aproveitamento de águas pluviais são cada vez mais relevantes uma vez que podem fornecer informação para o aumento da eficiência da poupança de água em edifícios ou residências, refletindo-se num meio ambiente mais sustentável.

O objetivo deste estudo experimental é contribuir para o estudo da captação de águas pluviais para usos não potáveis provenientes de telhados cerâmicos. Foi realizada uma análise do transporte de poluentes sólidos em telhados cerâmicos, assim como um estudo sobre o efeito das baixas intensidades de precipitação no aproveitamento da água da chuva. Primeiramente o objetivo passa por analisar o transporte de partículas pelo escoamento do telhado em função de três inclinações e da posição e concentração das partículas. Num segundo momento, pretende-se analisar a variação do coeficiente de escoamento quando a ocorrência de chuvadas de intensidades mais baixas. O presente trabalho integra-se na preparação de dois artigos científicos resultantes de trabalhos de investigação em curso no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. O primeiro intitulado “Modelação do Escoamento e Transporte de Partículas Acumuladas em Telhados Cerâmicos Inclinados” submetido ao 17º Encontro de Engenharia Ambiental e Sanitária, de 14 a 16 de Setembro de 2016, em Guimarães. O segundo referente às chuvadas de baixas intensidades para uma revista científica internacional, está em fase de elaboração.

A tese encontra-se estruturada em 5 capítulos. No capítulo introdutório é feito um enquadramento da dissertação, seguido da definição dos objetivos do trabalho e por fim a estrutura do mesmo. No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica referente ao aproveitamento da água da chuva, onde são abordados conteúdos relativos à água, aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e o enquadramento legal do tema. O capítulo 3 descreve os métodos e os materiais utilizados na parte laboratorial. No capítulo 4, ocorre a discussão e a análise dos resultados obtidos experimentalmente. No capítulo 5 são listadas as conclusões.

2. Aproveitamento da água da chuva

2.1. Introdução

A água é o recurso natural mais valiosos do planeta. Por esta mesma razão, a escassez deste recurso pode criar conflitos mundiais para ter o seu uso e fruto. A ONU prevê o aumento de conflitos entre nações devido aos recursos hídricos. O planeta caminha em direção à consciencialização, mas não ainda o suficiente para salvar as gerações presentes no futuro e as gerações vindouras.

O 5º relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) de 2014, refere que o planeta está cada vez mais quente, sobretudo devido às emissões dos gases do efeito de estufa decorrentes das atividades antrópicas. Caso a tendência se mantenha a temperatura pode aumentar 4,8°C até 2100. O nível do mar está a subir como consequência do degelo nos pontos mais frios, tornando-se o oceano mais quente e ácido. É de destacar ainda a variabilidade das precipitações e ventos, uma vez que os seus padrões se têm alterado, os fenómenos extremos como secas e cheias são cada vez mais frequentes e irregulares.

Prevê-se que as altas altitudes e o Pacífico Equatorial sofram um aumento anual da precipitação, enquanto que nas latitudes médias e nas regiões secas tropicais, os eventos extremos de precipitação serão mais habituais e intensos, alterando todo o ciclo hidrológico. Todos estes fatores influenciam diretamente os recursos hídricos a nível da quantidade e da qualidade. Segundo o IPCC, o aumento de um grau no aquecimento global levará a que 7% da população mundial veja diminuído em 20% o seu acesso aos recursos hídricos renováveis (IPCC, 2014). Em 2010 surge assim neste contexto a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC) com a finalidade de gerir as novas perturbações ambientais climáticas.

Os principais objetivos da ENAAC 2020 passam por promover o conhecimento das alterações climáticas que se fazem sentir, criar medida adaptativas nas políticas sectoriais. O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) conclui de estudos recentes que em Portugal a precipitação tende a diminuir na Primavera, Verão e Outono em contraste com o aumento de dias de chuva intensa no Inverno (ENAAC 2020, 2015).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (EEA), aproximadamente três quartos da população da Europa reside em zonas urbanas, o que se traduz em um quinto da água doce captada para

abastecer estes aglomerados populacionais, bem como indústrias, edifícios públicos, empreendimentos turísticos.

Uma vez que nem todas as atividades necessitam do mesmo grau de qualidade da água é fundamental gerir os recursos hídricos de uma forma racional nas cidades, ou seja, adequar a sua qualidade ao seu uso. Estima-se que 60 a 80% da água destinada às cidades seja usada para usos domésticos e que 60% desse uso doméstico seja apenas para higiene pessoal. É necessário sensibilizar as populações e, uma forma eficaz de o fazer passa por mostrar o preço da água em função do volume consumido. No Reino Unido, em zonas habitacionais com contador, o consumo de água é de menos 13% do que em zonas que não possuam este controlo (EEA, 2012).

A utilização de águas cinzentas, ou seja, águas provenientes dos banhos, dos lavatórios, da cozinha menos as águas da sanita, é uma forma eficaz de reutilizar águas com uma qualidade menor em atividades em que possa ser viável. Tal como o aproveitamento das águas da chuva. A introdução de pequenas mudanças nos sistemas de abastecimento poderia tornar possível a devolução de águas residuais ou da chuva aos consumidores urbanos para usos não potáveis.

Um indicador de destaque na gestão da água é a pegada hídrica, uma vez que permite avaliar o volume de água utilizado para os bens e serviços por habitante. Segundo Hoekstra et al. (2013) a pegada hídrica pode ser dividida em 3 componentes de consumo: a pegada hídrica azul, verde e cinzenta.

A primeira está associada ao consumo das massas de água superficiais e subterrâneas pelo homem. O cálculo da pegada hídrica azul compreende três parcelas: a sua evaporação, a sua incorporação e por fim a vazão que não se encontra disponível para ser reutilizada. A verde está relacionada com o consumo da água que não escoar, mas que pode ser armazenada sem existir reposição das águas subterrâneas. O cálculo desta compreende a sua incorporação e respetiva evaporação. A cinzenta refere-se à poluição, ou seja, o volume de água doce necessário para a diminuição dos poluentes para níveis de qualidade aceitável. É obtida através da divisão do caudal mássico do poluente pela diferença da concentração aceitável do poluente com a concentração natural no meio (Hoekstra et al., 2013).

No contexto da pegada hídrica, a recolha de água da chuva pode ser enquadrada no setor azul ou verde. É considerada azul porque pode pertencer ao tipo de águas que estão associadas a escoamento, como o caso de estudo, aproveitamento a partir de telhados cerâmicos. Pertencente

ao setor verde na medida em que pode estar relacionada com sistemas que aumentem a capacidade de retenção da mesma, como por exemplo os telhados verdes (Hoekstra et al., 2013).

O ranking da WWF (World Wide Fund for Nature) coloca Portugal na sexta posição, entre 140 países, relativamente a este indicador, com uma pegada de 52 m³ por pessoa por ano. Contudo cerca de 80% está diretamente associado ao setor agrícola, traduzindo-se num setor pouco eficiente e com elevada importação de bens.

No estudo realizado, foi ainda avaliada a escassez hídrica nacional em cerca de 33%. É um país rico em recursos hídricos, mas muito dependente de Espanha, dado que 67% das massas de água superficiais são de origem espanhola. A principal razão para esta posição no ranking está associada a má gestão dos recursos, a um ordenamento do território de forma pouco eficaz e à dependência externa nos recursos hídricos (Lusa e Público, 2010).

Estimou-se que em 2007 cerca de 11% da população europeia foi afetada pela falta de água, bem como 17% do território europeu. A União Europeia anunciou que em 2050 a escassez de água constituirá um grave problema no Sul da Europa e nos países mediterrânicos. Deve-se sobretudo ao aumento da procura e à diminuição da oferta, agravando-se com as constantes mudanças climáticas que se fazem sentir por todo o mundo e pelo uso insustentável dos recursos hídricos.

De 2009 a 2010, países como Chipre, Malta e República Checa eram os mais afetados com falta de água na Europa. Portugal, apesar de não se incluir neste grupo, enquadrava-se no grupo logo a seguir, com uma escassez também acentuada. (Greensavers, 2011).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) avançam que atualmente a escassez hídrica é cerca de 40% a nível mundial, contudo aumentará para os 2/3 em 2050. Estima-se que para o mesmo ano o consumo de alimentos irá crescer em 60%, o que se traduz em maiores necessidades de água. Já a UNESCO prevê um decréscimo de 40% do abastecimento de água no ano de 2030, sendo que a procura de água crescerá em 55% em 2050 (UNRIC, 2015).

A escassez hídrica poderá ser um fator limitante no futuro relativamente ao crescimento económico, por isso um uso mais sustentável da água, ou seja, a implementação de economias verdes poderá levar à criação de novos empregos, refletindo-se positivamente na economia mundial. Os empregos associados a este recurso, que representam 78% da mão-de-obra mundial, enquadram-se em três áreas: gestão dos recursos hídricos, infraestruturas hídricas e

fornecimento de serviços. (Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2016). Por esta razão e aliando-se a todas as outras razões como a poluição das massas de água ou as alterações climáticas, o uso racional da água é crucial à economia bem como à vida humana. Deste modo o aproveitamento da água da chuva adquire um lugar de destaque para um desenvolvimento mais sustentável.

2.2. Sistemas de aproveitamento da água da chuva

O aproveitamento da água da chuva surge como uma maneira eficaz de economizar e armazenar este recurso natural tão importante. Permite reduzir a pegada hídrica, custos de abastecimento e contribui para a diminuição de cheias. É uma prática bastante recorrente e eficiente em alguns países do mundo. A recolha de águas pluviais pode ser efetuada em diversos locais, desde edifícios, indústrias, empresas, habitações, sendo transversal a todos os setores da sociedade.

Definir o início do aproveitamento da água da chuva é bastante difícil, uma vez que a sua utilização provém de diversas civilizações antigas. O primeiro registo data de 830 AC, em Israel, onde o Rei Mesa deixou inscrito na pedra Moabita que todos os habitantes deveriam possuir uma cisterna na sua habitação (Thomaz, 2003). Há cerca de 4500 anos AC, era uma técnica usada pela civilização Mesopotâmica, mais tarde foi usada ainda pelos Nabateus, que habitavam no norte da Arábia, e no deserto de Negve em Israel. O escoamento da água da chuva proveniente das encostas das zonas altas era utilizado para irrigar as culturas agrícolas (Sivanappan, 2006).

Em Portugal, muitos castelos e conventos recolhiam a água da chuva para diversos usos, uma vez que devido a sua localização o abastecimento de água era dificultado. Alguns exemplos são o Castelo de Sesimbra, a Torre de Belém e ainda o Convento dos Templários em Tomar que possuía dois reservatórios com dimensões de 145 m³ e 215 m³.

Atualmente, esta técnica é usada em diversos países do mundo e com diversas finalidades, desde utilizações para usos domésticos, bem como para rega de parques ou abastecimento de edifícios públicos para usos não potáveis.

Em Tóquio a água da chuva é coletada e usada em épocas de escassez, para controlo de cheias ou para casos de emergência. A arena de lutas livres de Ryogoku Kokugikan construída em 1985 utiliza a água da chuva nos sanitários e para os sistemas de ar condicionado. Com uma área de coleta de 8400 m², que abrange toda a sua cobertura, possui um reservatório de 1000 m³.

Ainda cerca de 750 edifícios públicos e privados na cidade de Tóquio já utilizam águas pluviais para irrigação dos jardins ou combate a incêndios (UNEP, 2002).

A Alemanha é o país líder relativamente a sistemas de aproveitamento de água da chuva. Cerca de 35% dos edifícios novos no país são equipados com os sistemas para a coleta da água da chuva. Na Bélgica, todas as novas construções com área de telhado superior a 100 m² devem possuir o sistema de aproveitamento para descargas de autoclismo ou usos externos não potáveis (Environmental Agency UK, 2008).

Em Espanha, na Catalunha, muitos municípios estão a criar normas obrigatórias de implementação de aproveitamento de água da chuva nas novas construções que possuam uma determinada área de jardim. No Brasil, o governo aprovou subsídios para a construção de um milhão de cisternas em áreas semiáridas. Também na Austrália, o incentivo ao uso de águas pluviais existe. O governo australiano fornece subsídios às casas que aproveitem as águas pluviais (Domènech e Sauri, 2011).

No setor doméstico cerca de 35% a 45% da água utilizada não necessita de ter um grau de qualidade elevado. Um estudo relativo à recolha de águas pluviais para usos domésticos, nomeadamente em sanitas, realizado em Ringdansen na Suécia demonstra que esta prática pode levar a uma poupança de 30% de água para um reservatório de 40 m³. No caso de uso para irrigação nos meses de verão, um reservatório de 80 m³ pode levar a uma poupança de 60% (Villarreal e Dixon, 2005).

Um estudo efetuado em Florianópolis, Brasil, evidencia que a poupança de água utilizando águas pluviais nos usos domésticos pode ir de 14,7% a 17,7% numa zona residencial com três blocos habitacionais. Ficou claro ainda que, para um tanque de 10.000 L, o retorno do investimento estaria coberto em apenas 5 anos (Ghisi e Ferreira, 2007).

O hotel ITC Maratha em Mumbai possui uma área de 600 m² para recolha da água da chuva. Antes de ser utilizada é tratada através de raios ultravioleta e depois usada sobretudo em limpezas. O centro comercial Westfield em Londres é outro exemplo do uso de águas pluviais para fins não potáveis. A água é usada nas 200 casa de banho do estabelecimento comercial, contribuindo assim para a redução de custos financeiros e com um tempo de retorno do investimento inferior a 5 anos.

Em Portugal o aproveitamento da água da chuva ainda não é uma prática muito recorrente. Apesar disso já é referida em diversos programas e estratégias nacionais, começando a ganhar mais visibilidade.

No Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro foi instalado um sistema para o aproveitamento de água da chuva. Este sistema permite abastecer o canal hidráulico do laboratório com um volume total de 10 m³ (Ecoágua, 2010).

O Ecorkhotel, no Alentejo reaproveita as águas cinzentas e da chuva, depois de tratadas na ETAR que possui, para rega dos jardins e da horta biológica. Outro exemplo no sector comercial é o Leiria Shopping, que aproveita a água da chuva para os sanitários.

Existem ainda alguns edifícios particulares a reaproveitarem a água pluvial para usos domésticos. A empresa Ecoágua Lda realizou a instalação de alguns sistemas em habitações familiares na zona de Lisboa. O aproveitamento da água irá servir para uso em sanitários, regas de jardim e ainda para máquinas de lavar roupa.

Um estudo realizado em Portugal acerca da aplicação dos sistemas de aproveitamento da água da chuva em residências portuguesas conclui que estes podem ajudar a reduzir os picos de descarga nas redes de drenagem contribuindo para a redução das cheias urbanas (Silva et al., 2014).

A poupança de água potável que se pode obter com a recolha de águas pluviais varia consoante a intensidade de precipitação, a área do telhado, a dimensão dos reservatórios ou mesmo a geografia do local. Contudo, é claro que é uma prática que pode levar a uma redução do uso de água potável, permitindo uma utilização mais sustentável e menos custosa financeiramente.

O aproveitamento da água da chuva é efetuado por sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP). Os SAAP podem ser usados em edifícios residenciais, comerciais ou industriais e, dependendo da sua finalidade, possuem diferentes características. O sistema compreende 4 elementos fundamentais: a superfície de recolha, as calhas condutoras, os reservatórios de armazenamento e o tratamento (May, 2004).

A água pode ser captada em coberturas ou mesmo pátios ao nível do solo, é transportada pelas calhas condutoras horizontais ou verticais até ao local de armazenamento. Até chegar ao reservatório, passa por sistemas de filtragem para retirar as impurezas sólidas grosseiras existentes na área de captação como por exemplo folhas. Alguns sistemas possuem ainda um

sistema de desvio das primeiras águas de precipitação, as “*first-flush*”, uma vez que estas são consideradas águas de lavagem da superfície de aproveitamento.

Os sistemas de recolha compreendem três tipos: sistemas diretos, sistemas indiretos por gravidades e sistemas indiretos por impulso. Os sistemas diretos são aqueles que recolhem a água e esta é diretamente transportada para os pontos em que é necessária. Os sistemas indiretos possuem um segundo reservatório normalmente localizado no interior da edificação. O sistema indireto por gravidade compreende o facto de nos casos de falha de energia continuar a funcionar sem interrupções. Enquanto o sistema indireto por impulso é usado em casos que são necessárias altas pressões ou em que o reservatório não pode se localizar à altura necessária (Rainharvesting, 2016).

Os reservatórios podem estar enterrados, apoiados ou elevados. Antes da entrada da água no reservatório existe um filtro para retirar as partículas finas. Deve possuir ainda um descarregador para remover o excesso de água e ainda algumas partículas flutuantes que tenham permanecido, encontrando-se o reservatório sempre fechado. A definição do volume de armazenamento é um ponto-chave para o funcionamento do sistema uma vez que necessita ter em conta a entrada e saída de caudal para as diversas estações do ano, as utilizações da água captada e a superfície de coleta. É necessário salientar que durante as épocas em que ocorre menos precipitação, o reservatório precisa de abastecimento da rede pública para continuar a proceder à alimentação do sistema.

Estudos revelam que a qualidade da água da chuva proveniente de telhados está diretamente associada às deposições atmosféricas de partículas bem como ao tipo de material da cobertura. A concentração das partículas poluentes é maior durante o período inicial do escoamento, independentemente do seu tamanho. Contudo, partículas mais finas tendem a ser removidas apenas com chuvadas de maior intensidade (Egodawatta et al., 2009).

O tratamento das águas pluviais vai depender da sua qualidade e para que usos irá servir. Pode ocorrer somente a captação da água ou esta pode estar aliada a processos de tratamento. Um processo mais simples compreende sedimentação natural, filtração ou o uso de cloro. A cloração é fundamental para a remoção de poluentes microbianos, uma vez que estes são muito recorrentes na água da chuva. Um grau de qualidade superior requer tratamentos mais dispendiosos como utilização de raios ultravioleta, ozono ou osmose inversa (Tomaz, 2009).

Os sistemas de aproveitamento da água da chuva cada vez mais adquirem um papel fundamental para um mundo mais equilibrado no uso dos recursos hídricos. Apesar de ser ainda pouco

recorrente no território nacional, começa a ganhar dimensão e utilizadores. É uma prática que, quando implementada nas mais diversas atividades, poderá trazer uma poupança de água bastante significativa.

2.3. Enquadramento legal

A Diretiva Quadro da Água (DQA- Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000) é o principal documento da União Europeia relativo ao uso e gestão da água. O facto de a água ser um recurso fundamental à vida leva a que seja uma preocupação nacional e a nível de todos os estados membros. Foi transportada para a legislação nacional através da Lei da Água (LA - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro), sendo mais tarde alterada pelo Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho. Esta Diretiva (DQA) e consequente Lei da Água em Portugal (LA), que estabelece as regras para a salvaguarda das águas de superfície, subterrâneas, de transição e costeiras.

Uma melhor gestão do recurso natural água passa pela implementação de instrumentos de planeamento tais como: o Plano Nacional da Água (PNA), Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e Planos Específicos de Gestão de Águas, complementares aos PGRH. O PNA visa determinar a política nacional da água e os princípios e regras a seguir, analisando os problemas que surgem e elaborando um conjunto de medidas e ações. A gestão da água assenta em três objetivos fundamentais: proteção e recuperação dos ecossistemas aquáticos; um uso mais sustentável dos recursos hídricos e a minimização de impactes decorrentes de secas e cheias (PNA 2015).

O Programa Nacional par o Uso Eficiente da Água (PNUEA) criado em 2000-2001 é um elemento imprescindível uma vez que contribui para a diminuição das pressões qualitativas e quantitativas nas massas de água traduzindo-se num melhor desempenho ambiental e económico. No ano de 2009 o desperdício de água por sector rondava os 25% no sector urbano, 37,5% no sector agrícola e 22,5% no industrial. Com este novo plano, os principais objetivos estratégicos 2012-2020 passam por alterar a atitude da população face ao desperdício da água, promover a consciência nas entidades gestoras dos recursos hídricos, qualificar os agentes que lidam diretamente com questões associadas à água e reduzir os desperdícios e perdas de água.

A escassez hídrica é outro ponto crucial abordado neste plano. Algumas ações recomendadas assentam na não utilização ou limitação do uso da água em certas atividades exteriores em períodos de escassez, uma vez que são necessárias medidas de gestão mais rigorosas.

Quanto à recolha da água da chuva, surge no sector urbano com o objetivo da promoção do aproveitamento da mesma para atividades em que possa ser usada água não potável. Podendo assim ser usada para rega de jardins ou espaços verdes recreativos, como campos de desporto, ou mesmo na restituição de água em lagos, para lavagem de pavimentos. É ainda destacada a promoção da instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios públicos ou privados (PNUEA 2012). As metas para 2020 passam pela redução do desperdício de água a nível nacional para 15% na área Industrial, 35% na agricultura e 20% no sector urbano (@ APA 2016), implementação do cálculo da pegada hídrica nos municípios e ainda promoção da certificação hídrica de edifícios e equipamentos.

O aproveitamento de águas pluviais por parte de entidades públicas ou privadas é um tema que levanta algumas questões em diversos países. Nos E.U.A., em alguns estados como Utah, Washington ou Colorado, um utilizador privado não pode recolher a água das chuvas uma vez que consiste num bem público e alega-se que ao ser recolhida deixa de poder escoar para onde é necessária, sendo mesmo ilegal o seu aproveitamento (Adams,2010). No Brasil foi elaborada a norma NBR 15527 de 2007 que define os requisitos para a recolha de águas pluviais em zonas urbanas para fins não potáveis. Contrariamente a outros países como E.U.A. e o Brasil, o aproveitamento da água da chuva é uma atividade que não carece de legislação em Portugal apesar de referido no PNUEA. Surge referido na Resolução da Assembleia da República n.º 113/2012 como uma proposta na reforma dos sistemas de abastecimento água e saneamento, com o objetivo de aumentar a eficiência hídrica. É referido no ponto 7 a) o aproveitamento da água da chuva como uma maneira de incrementar o rendimento dos sistemas.

Outra referência de destaque é a Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos (Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro) que refere brevemente águas pluviais, apenas para dizer a quem pertencem essas águas, artigo 7º c) e d). São águas públicas se caírem em terrenos públicos ou se caírem em terrenos privados, mas escorrerem para fora dos limites do terreno. Caso seja em terreno privado são privadas e o seu uso não carece de autorização nem título de utilização.

A Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP) estabeleceu ainda recentemente duas especificações técnicas (ETA 0701 e ETA 0702) relativas ao aproveitamento da água da chuva em edifícios para fins não potáveis. A primeira especificação está associada aos métodos para a construção de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP). A segunda referente à certificação dos SAAP de acordo com a ETA 0701. Estas duas especificações são as únicas neste âmbito em Portugal

3. Métodos e Materiais

3.1. Introdução

O estudo assentou em trabalhos experimentais efetuados em laboratório divididos em duas partes. A primeira parte é referente ao transporte de partículas em telhados cerâmicos e a segunda parte à influência de chuvadas de baixa intensidade no escoamento gerado pelo telhado.

Neste capítulo são descritos os materiais e equipamentos utilizados no trabalho laboratorial em análise, bem como todos os procedimentos utilizados para a realização dos ensaios experimentais.

3.2. Transporte de partículas em telhados cerâmicos

3.2.1. Equipamento e Instalação laboratorial

O equipamento utilizado no caso de estudo laboratorial consiste essencialmente num simulador de chuva e num telhado cerâmico existente no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

O simulador é constituído por um nebulizador localizado 2,2 m acima do telhado cerâmico, suportado por uma estrutura metálica. Possui um painel de controlo que permite mover a posição da estrutura ao longo dos carris. O abastecimento de água do simulador é proveniente de um tanque com nível constante pressuriza um nebulizador de modelo 3/8-HH-22. O telhado utilizado possui 3,7 m² (1,5 m×2,44 m), montado com telhas cerâmicas do tipo Lusa com dimensões de 0,46×0,25 m². Foram analisados três declives do telhado cerâmico: 2%, 10% e 20%. O escoamento proveniente do telhado é recolhido através de caleiras posicionadas na parte terminal e central do mesmo. Na Figura 3.1 pode-se observar o esquema do simulador utilizado.

Na realização da parte experimental foram ainda utilizados outros equipamentos como por exemplo balanças e recipientes metálicos. Para a secagem das amostras contendo partículas foi utilizada uma estufa.

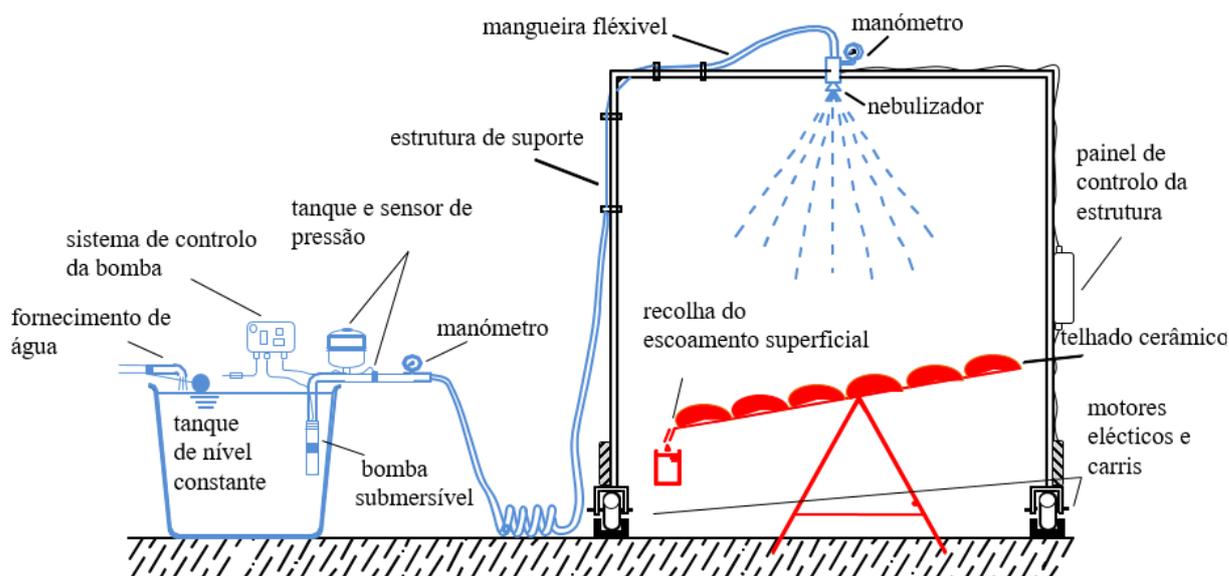


Figura 3.1- Sistema de simulação de chuva e telhado cerâmico utilizado em laboratório.

3.2.2. Partículas

Um material importante no desenvolvimento da parte experimental são as partículas que simulam um poluente sólido depositado no telhado. Utilizaram-se partículas de areia de diâmetro maioritariamente compreendido entre 0,6 e 0,3 mm. Para uma caracterização mais completa das partículas usadas foi elaborada a curva granulométrica da areia no Anexo A, utilizando peneiros.

Para o ensaio granulométrico foi usada uma massa total de 200 gramas de areia com a realização de 4 ensaios de peneiração com amostras de 50 gramas cada. Em síntese, o D50 da amostra é 0,37 mm.

3.2.3. Chuvada simulada

A intensidade de precipitação do simulador de chuva para as três declividades (2%, 10% e 20%) foi obtida através da realização de um ensaio experimental, onde se determinou a distribuição espacial da intensidade de precipitação no telhado cerâmico. Foi colocado um recipiente por

telha, com área de 0,01 m², para um tempo de chuvada de 3 minutos. O volume precipitado é calculado pela diferença de massa dos recipientes antes e após o ensaio. A intensidade para cada telha é calculada através da equação:

$$I \left(\frac{mm}{h} \right) = \left(\frac{V}{A \times t} \right) \quad (1)$$

em que: V- Volume precipitado em (mm³); A- Área do recipiente (mm²); t- Tempo de chuvada (h).

Foram realizados três ensaios e calculada a média da intensidade para cada telha e a intensidade média total (Quadro 3.1).

Intensidade média (mm/h) em cada telha								
	<u>Linha 1</u>	<u>Linha 2</u>	<u>Linha 3</u>	<u>Linha 4</u>	<u>Linha 5</u>	<u>Linha 6</u>	<u>Linha 7</u>	
	61,87	81,71	98,65	104,94	80,23	52,76	43,90	
<u>Inclinação</u>	133,57	135,56	139,98	158,28	130,61	125,86	118,93	
<u>2%</u>	122,21	156,86	204,49	240,50	209,05	156,29	117,26	
	125,54	133,18	158,47	176,57	170,34	148,39	130,74	
	90,63	103,59	101,47	108,41	106,03	93,39	79,78	
	30,10	50,83	50,38	52,25	60,72	42,36	16,24	
	Intensidade Média Total (mm/h)							115
	70,54	93,84	111,36	118,93	85,56	59,75	48,33	
	133,57	138,83	146,15	198,13	168,61	145,38	121,82	
<u>Inclinação</u>	119,89	151,41	183,69	241,07	187,99	156,03	123,30	
<u>10%</u>	118,48	126,95	147,94	164,37	154,43	137,61	123,81	
	80,42	91,85	89,92	95,83	98,91	85,11	75,29	
	35,17	51,09	46,21	51,67	60,59	42,81	20,47	
	Intensidade Média Total (mm/h)							111
	65,56	111,45	121,53	125,06	104,97	80,55	84,05	
	131,13	134,95	124,71	128,01	106,22	119,12	130,00	
<u>Inclinação</u>	159,18	166,97	187,22	187,70	189,66	159,56	166,94	
<u>20%</u>	133,02	115,11	110,68	143,42	152,02	177,82	127,69	
	91,14	79,49	93,80	108,47	120,70	101,67	81,29	
	43,74	57,86	70,44	73,81	78,50	62,16	29,91	
	Intensidade Média Total (mm/h)							111



Quadro 3.1- Distribuição das intensidades médias de precipitação em mm/h no telhado cerâmico para as inclinações de 2%, 10% e 20% e respetiva fotografia do ensaio.

Seguidamente foi efetuado o cálculo da intensidade média em toda a cobertura do telhado e do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC):

$$\text{CUC (\%)} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}\right) \times 100 \quad (2)$$

em que: x_i - Representa o valor da intensidade em cada telha (mm/h); \bar{x} - Representa a média da intensidade; n - Número de recipientes, 42.

O CUC permite avaliar a distribuição espacial da precipitação em uma determinada área. Os valores obtidos para o CUC são de 67,4%, 64% e 64,2% para as respectivas inclinações de 20%, 10% e 2%.

Na Figura 3.2 pode-se observar a distribuição espacial da intensidade de precipitação obtida no telhado cerâmico para as três declividades utilizadas. As curvas representam a intensidade de precipitação em mm/h, tendo em conta toda a área do telhado cerâmico.

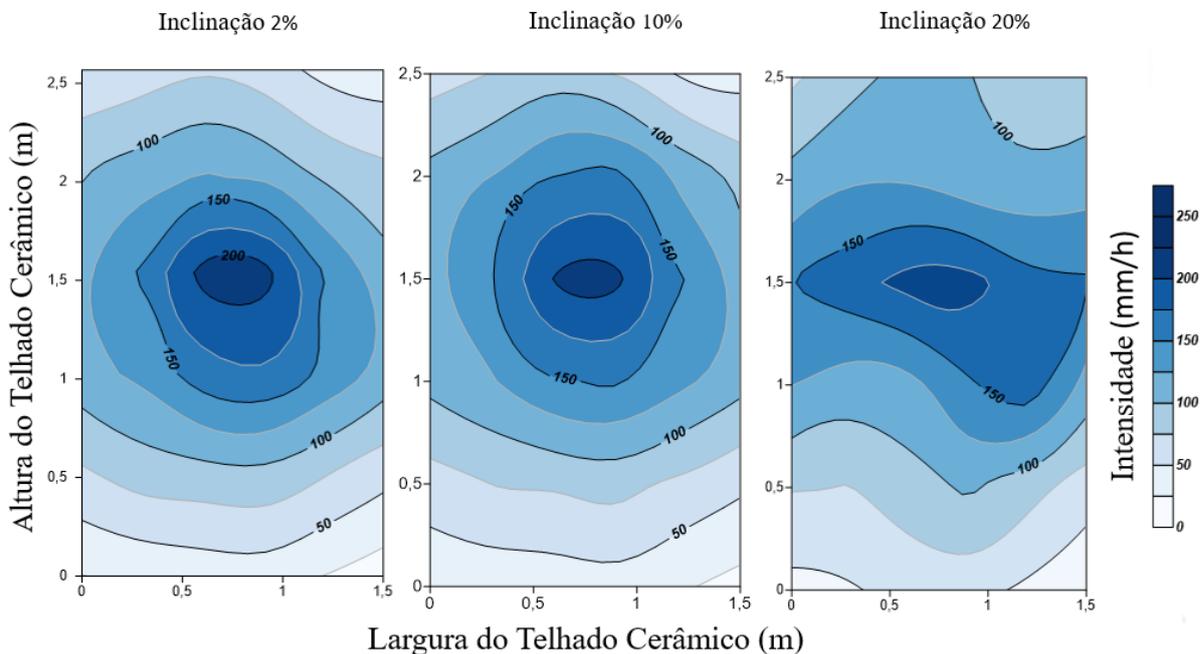


Figura 3.2- Distribuição espacial da intensidade de precipitação no telhado cerâmico para as inclinações 2%,10% e 20%.

Pode-se concluir que, na parte central do telhado cerâmico, a intensidade de precipitação é superior, uma vez que o simulador se encontra posicionado ao centro do telhado. A intensidade de precipitação média no telhado cerâmico é de 111 mm/h para o declive de 2% e 10%, para o declive de 20% é de 115 mm/h. Algumas zonas laterais possuem uma intensidade menor, assim como as últimas telhas de cada linha, sendo os valores mais baixos de toda a cobertura. Estas diferenças de intensidade refletem chuvadas naturais, uma vez que na natureza a precipitação não ocorre uniformemente.

3.2.4. Procedimento laboratorial

A primeira etapa deste estudo baseia-se na verificação do escoamento gerado nos telhados cerâmicos sem a introdução de partículas. Esta primeira etapa permite avaliar a forma do hidrograma gerado em função do declive da cobertura, proporcionando assim um conhecimento mais aprofundado das condições reais que ocorrem nos edifícios.

O simulador de chuva é ligado e identifica-se o tempo inicial do escoamento. Seguidamente são recolhidas as amostras do escoamento para determinação do caudal. Por fim, regista-se o tempo em que o escoamento termina.

Numa segunda parte foi analisado o transporte de partículas tendo em conta a concentração e a posição que ocupam no telhado cerâmico. Para a realização dos ensaios experimentais são adotadas diferentes configurações (Figura 3.3). As 5 configurações são testadas apenas uma vez cada. Nas três primeiras configurações (CF1, CF2, CF3) a massa das partículas é distribuída em 50% da área da cobertura, variando apenas neste caso a posição. Nas últimas duas configurações (CF4, CF5) é investigado o efeito da concentração das partículas. CF4 possui uma distribuição de partículas em toda a área da cobertura e para CF5 as partículas encontram-se concentradas no centro da cobertura com uma área de 12,5% da total do telhado cerâmico.

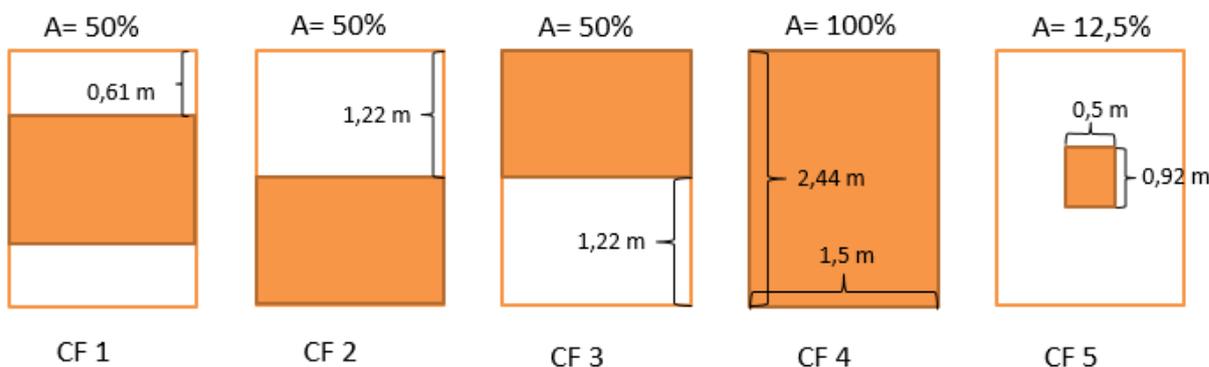


Figura 3.3- Configurações da distribuição de partículas posicionadas no telhado cerâmico.

Os trabalhos laboratoriais utilizando as 5 configurações da Figura 3.3, consistem na recolha de 10 amostras do escoamento. Os recipientes de recolha são pesados inicialmente e após a recolha do escoamento e em seguida, são colocados numa estufa a cerca de 110°C durante 24 horas.

3.3. Chuvadas de baixa intensidade

3.3.1. Equipamento e Instalação laboratorial

Foram realizados experimentos com dois níveis de intensidade: abaixo de 10 mm/h (baixas intensidades) e acima de 10 mm/h (médias intensidades). O equipamento utilizado para a simulação das chuvadas de médias intensidades consiste no simulador descrito no subcapítulo 3.2.1.. Para as baixas intensidades de precipitação foi utilizado um sistema de produção de gotas com controlo, ligado a um reservatório com nível constante. O teste desta etapa incide na utilização de apenas uma fila do telhado cerâmico com área 0,51 m² (0,21m×2,44 m).

Nesta fase do estudo experimental é introduzida uma nova variável, a existência de vento para promover a secagem das telhas nos intervalos entre chuvadas. Um ventilador é posicionado a cerca de 1 metro de distância do telhado cerâmico. O escoamento superficial é recolhido numa balança para o caso das intensidades inferiores a 10 mm/h e para os casos superiores a 10 mm/h são coletadas as amostras do escoamento para posterior pesagem.

Na Figura 3.4 é possível observar o esquema da instalação experimental com o simulador de chuva. Na Figura 3.5 observa-se o sistema de secagem para o caso das baixas intensidades.

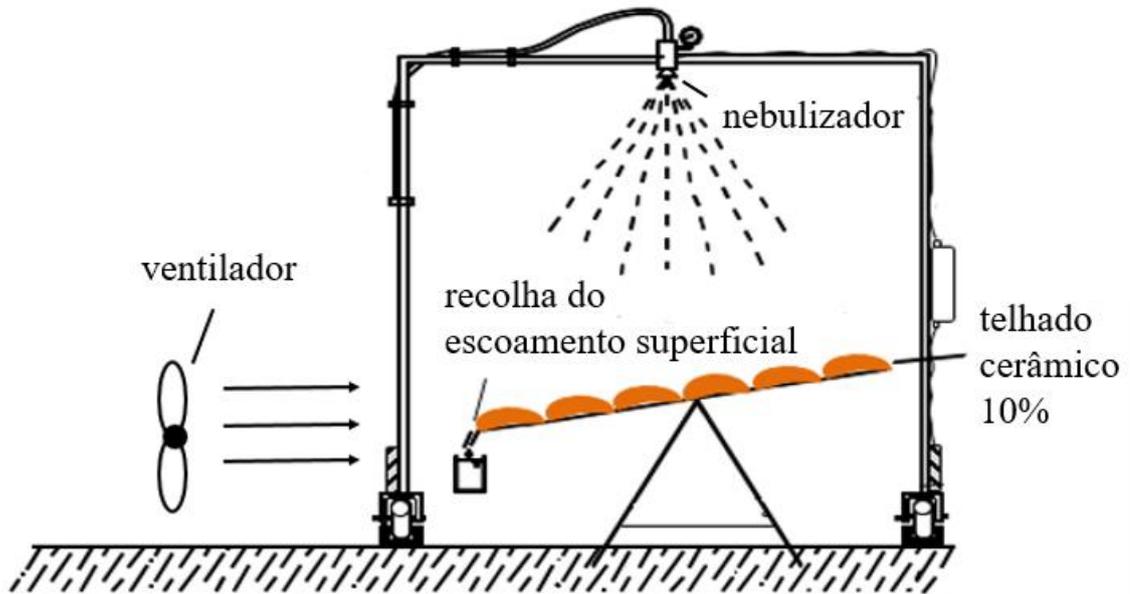


Figura 3.4- Esquema da instalação experimental com sistema de simulação de chuva e ventilador para secagem do telhado cerâmico (médias intensidades).

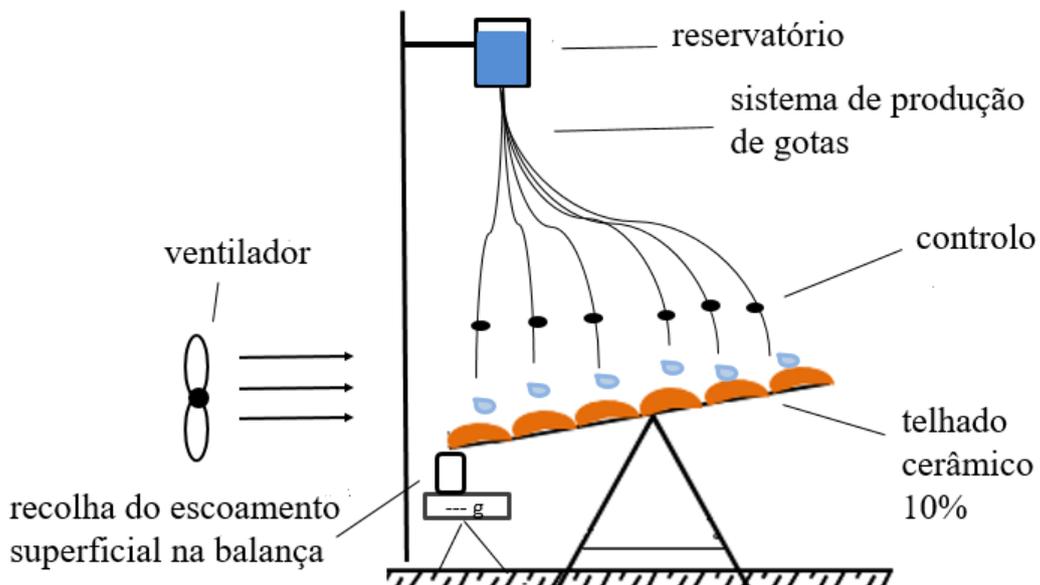


Figura 3.5- Esquema da instalação experimental com sistema de produção de gotas e ventilador para secagem do telhado cerâmico (baixas intensidades).

3.3.2. Chuvada simulada

A intensidade de precipitação média no caso do uso do simulador foi obtida através da recolha do escoamento da chuvada de 10 minutos com impermeabilização do telhado. O volume é totalmente recolhido e permite calcular a intensidade média de chuva na linha do telhado. Ainda foi efetuado um ensaio experimental para obtenção do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) através da equação (2). para todas as intensidades realizadas com o simulador (Quadro 3.2). A distribuição espacial para as médias intensidades não é tão uniforme, refletindo-se num CUC menor com a diminuição da intensidade de precipitação.

Para as intensidades mais baixas, em que é usado o sistema de produção de gotas, o processo de obtenção da intensidade passa pela colocação de um recipiente por cada telha da fila. O recipiente é colocado durante os 10 minutos da chuvada e depois convertido em intensidade, sendo assim obtida a intensidade média. As intensidades obtidas pelo sistema de produção de gotas são definidas como baixas intensidades. Foi realizado um ensaio laboratorial para obter o CUC (EQ.2) para cada uma das intensidades com o sistema de produção de gotas (Quadro 3.2). No caso das baixas intensidades, a distribuição espacial é mais uniforme, apresentando valores do CUC mais próximos entre si.

	Intensidade Média (mm/h)	CUC (%)
Médias Intensidades	61,58	66,52
	34,22	36,15
	12,82	15,25
Baixas Intensidades	9,92	88,28
	5,90	80,86
	5,02	85,54
	3,91	90,15
	2,93	73,25
	1,98	77,67
	1,62	64,29
	1,04	79,63

Quadro 3.2- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtido para as diversas intensidades de precipitação realizadas com o simulador e o sistema de produção de gotas.

Na Figura 3.6 pode-se observar a distribuição espacial na linha do telhado cerâmico para as médias e baixas intensidades (no Anexo C encontra-se o quadro com os valores da distribuição espacial para cada telha da fila).

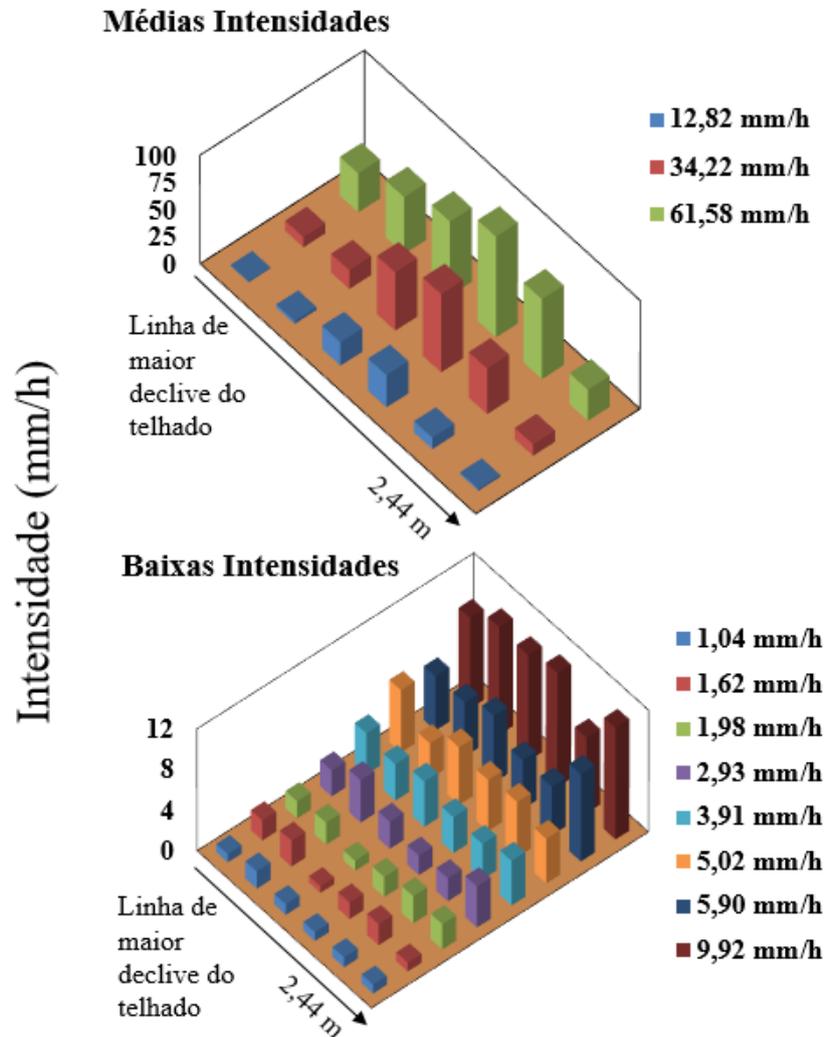


Figura 3.6- Distribuição espacial da intensidade de precipitação na linha em estudo do telhado cerâmico para as médias e baixas intensidades.

3.3.3. Secagem das telhas

Foi elaborado um ensaio prévio para analisar o tempo de secagem do telhado cerâmico com a simulação de vento com o ventilador e verificar se a secagem é uniforme no telhado. O ensaio

consiste em deixar o simulador ligado cerca de 10 a 15 minutos para a saturação das telhas. Seguidamente as telhas do canto inferior direito (T1), do canto superior direito (T2), do canto inferior esquerdo (T3) e do canto superior esquerdo (T4) são pesadas. Durante o tempo de ensaio de 8 horas as telhas são várias vezes pesadas.

Na Figura 3.7 pode-se observar a secagem das telhas ao longo do tempo do ensaio.

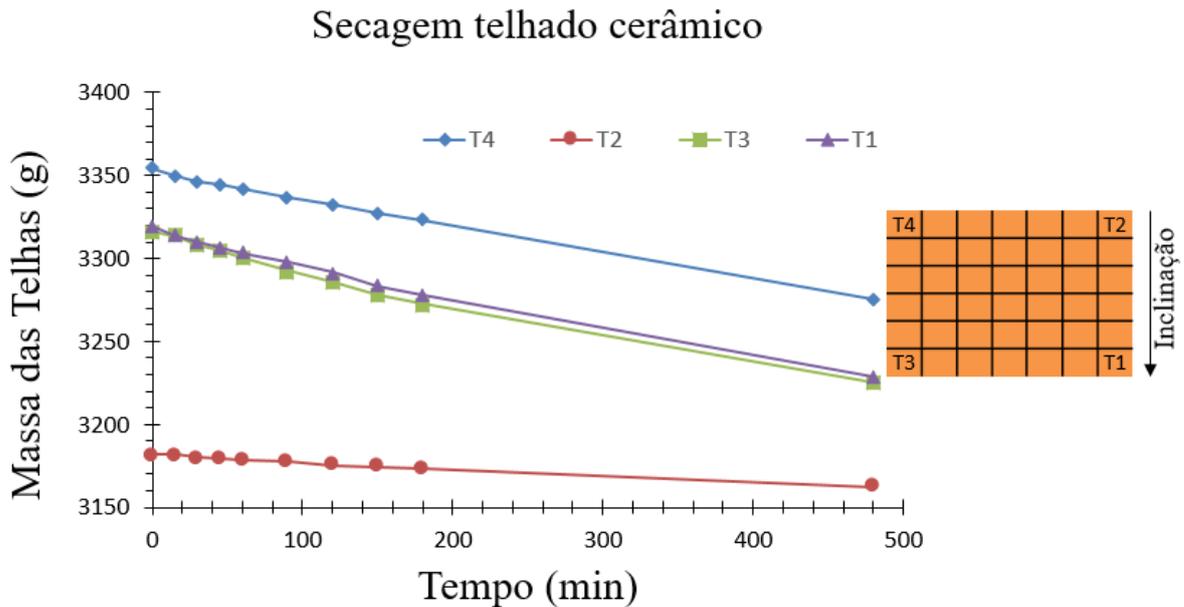


Figura 3.7- Curva de secagem das telhas e respetiva localização das telhas T1, T2, T3 e T4.

Deste teste conclui-se que a secagem das telhas não depende da sua posição no telhado cerâmico, uma vez que o declive das curvas de secagem é muito semelhante.

3.3.4. Procedimento laboratorial

O ensaio experimental das chuvadas de baixa intensidade encontra-se dividido em dois procedimentos. O primeiro consiste numa chuvada inicial de 10 minutos para avaliação do volume total precipitado. O segundo consiste em três chuvadas de 10 minutos intercaladas com secagem de 30 minutos com o ventilador (Figura 3.8). A linha em estudo é colocada no forno 24 horas antes da realização do ensaio para uma secagem completa, ou seja, ensaios começaram

com as telhas totalmente secas. Através do cálculo da área dos hidrogramas obtidos é possível obter o volume escoado para as médias e baixas intensidades.

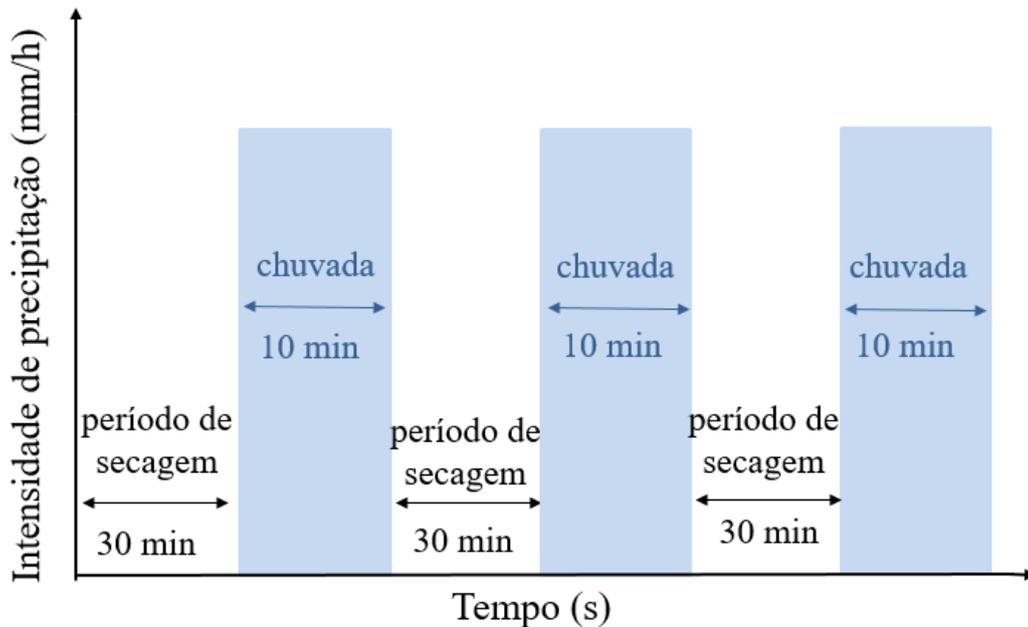


Figura 3.8- Cronograma dos ensaios laboratoriais com períodos de secagem intercalados com chuvadas.

O sistema de produção de gotas é posicionado em 10 pontos durante o ensaio, conforme ilustrado na Figura 3.9, para que a distribuição de gotas em cada telha seja aproximadamente uniforme.

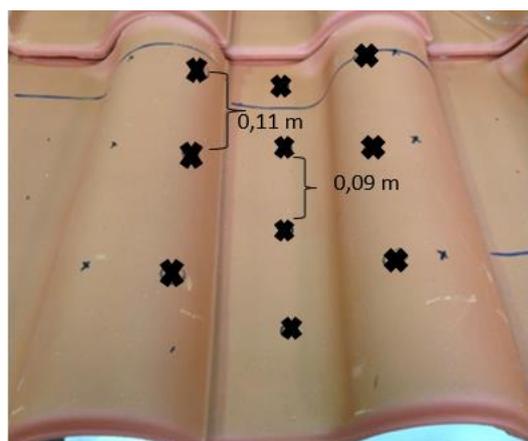


Figura 3.9- Locais de aplicação das gotas nas telhas para as chuvadas de baixa intensidade.

O coeficiente de escoamento usado nos cálculos foi estimado pela equação:

$$C = \frac{V_{escoado}}{V_{precipitado}} \quad (3)$$

em que: C é um número adimensional compreendido entre 0 e 1; $V_{escoado}$ - Volume obtido através da integração dos hidrogramas de escoamento superficial (ml); $V_{precipitado}$ - Volume precipitado e estimado, obtido através da intensidade de precipitação (ml).

4. Resultados e Discussão

4.1. Introdução

Neste subcapítulo encontram-se os resultados obtidos experimentalmente para o transporte de partículas em telhados cerâmicos e para o estudo das chuvadas de baixas intensidades.

4.2. Transporte de partículas em telhados cerâmicos

Numa primeira abordagem, será comparado o caudal produzido em função de três inclinações distintas, 2%, 10% e 20% com e sem partículas. Numa segunda parte é analisado o transporte de partículas. Estas foram analisadas em função do declive da superfície, da sua distribuição e concentração. Será ainda observada a massa de partículas transportada e não removida.

Na Figura 4.1 apresentam-se os hidrogramas médios para as três inclinações estudadas e a Figura 4.2 permite uma comparação entre os hidrogramas com e sem partículas depositadas no telhado cerâmico para as diferentes configurações e declividades.

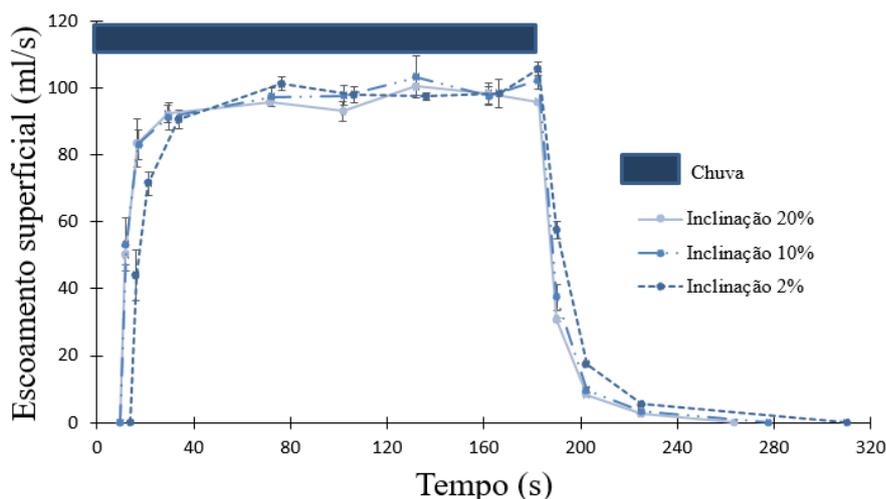


Figura 4.1- Hidrogramas de escoamento superficial sem presença de partículas do telhado cerâmico para as inclinações de 20%, 10% e 2%.

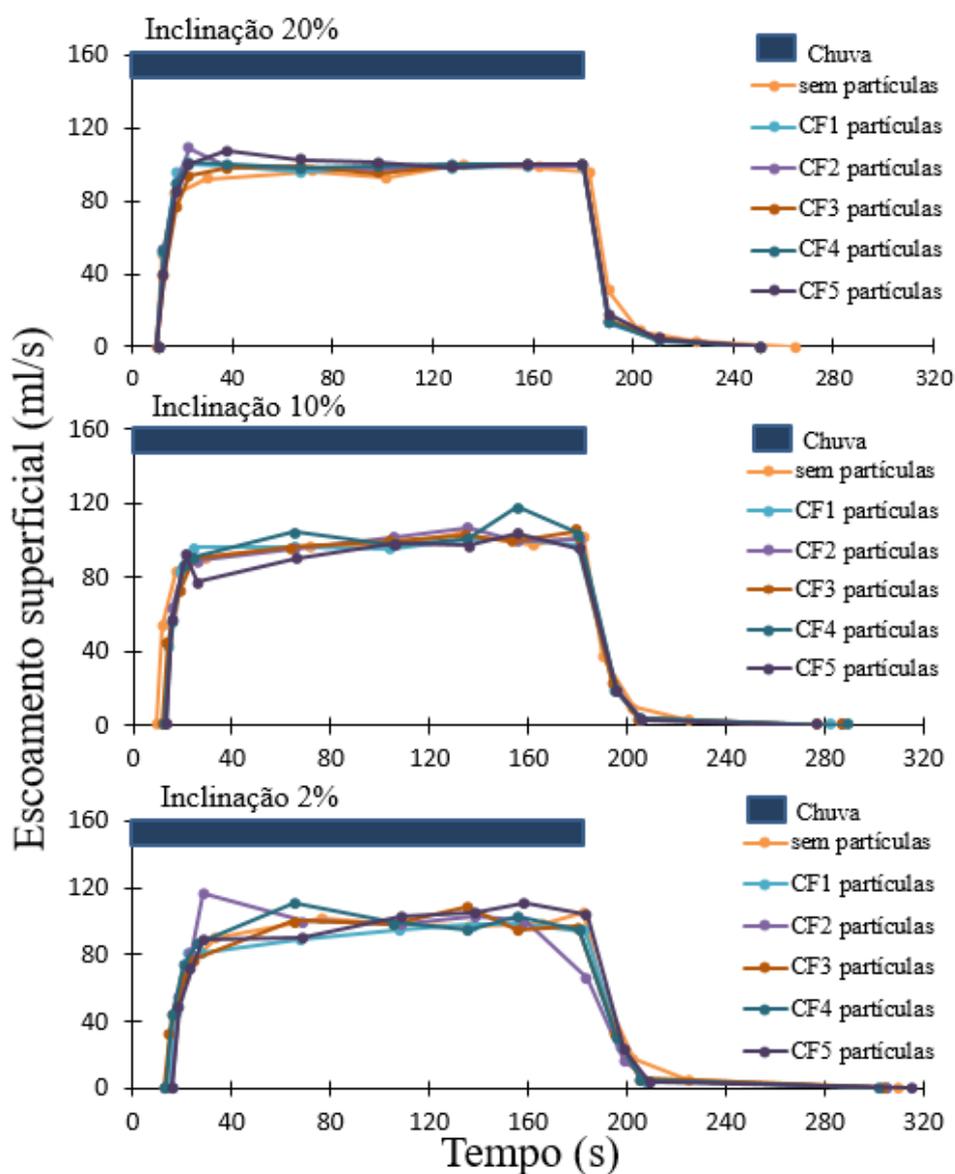


Figura 4.2- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para a inclinação de 20%, 10% e 2% e para as várias configurações com as partículas.

Das Figuras 4.1 e 4.2 observa-se que:

- Para a inclinação de 2% o escoamento inicia e termina um pouco mais tarde que no caso em que a inclinação do telhado é 10% e 20%;
- Os hidrogramas não apresentam diferenças significativas face ao caudal máximo;

- A presença de partículas em telhados cerâmicos não afeta significativamente os hidrogramas;
- O tempo de início de escoamento é entre os 9 a 16 segundos;
- O tempo de fim de escoamento é entre os 4 a 5 minutos;
- As pequenas variações observadas nos caudais advêm de erros sistemáticos decorrentes da medição.

As Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam os resultados obtidos para o transporte de partículas.

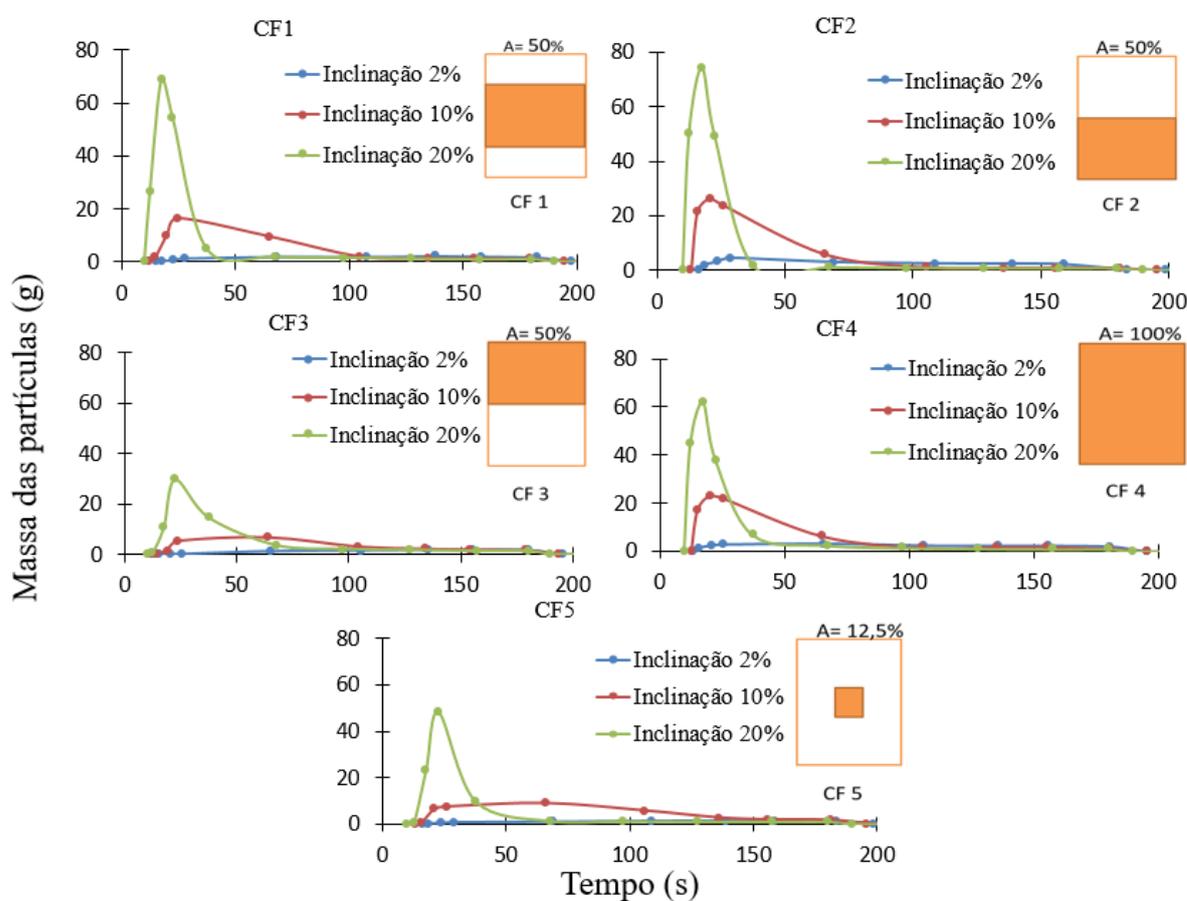


Figura 4.3- Massa de partículas obtida em função do tempo para as diferentes configurações para todas as declividades.

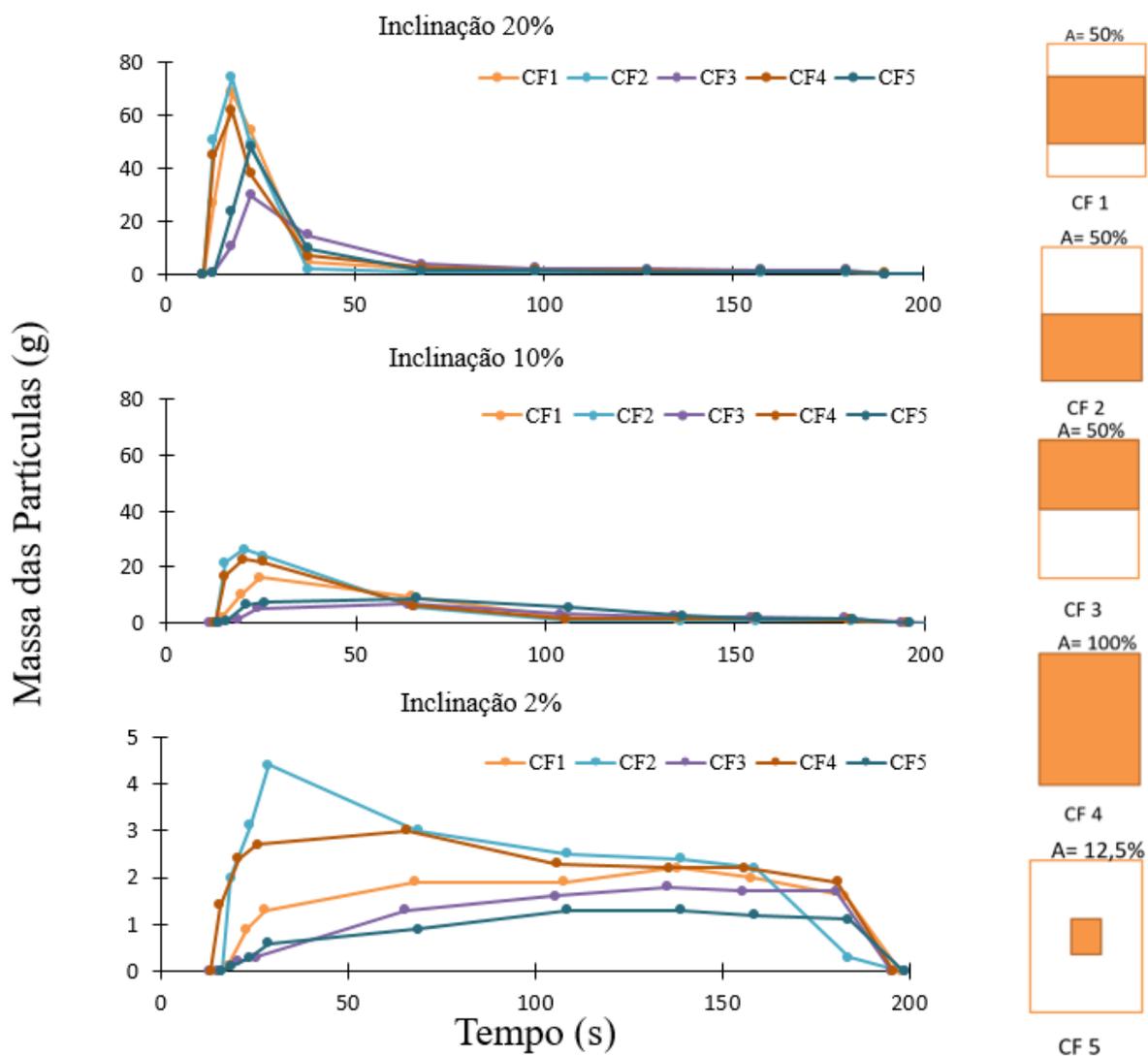


Figura 4.4- Massa de partículas obtida em função do tempo para as diferentes configurações e para as três inclinações do telhado.

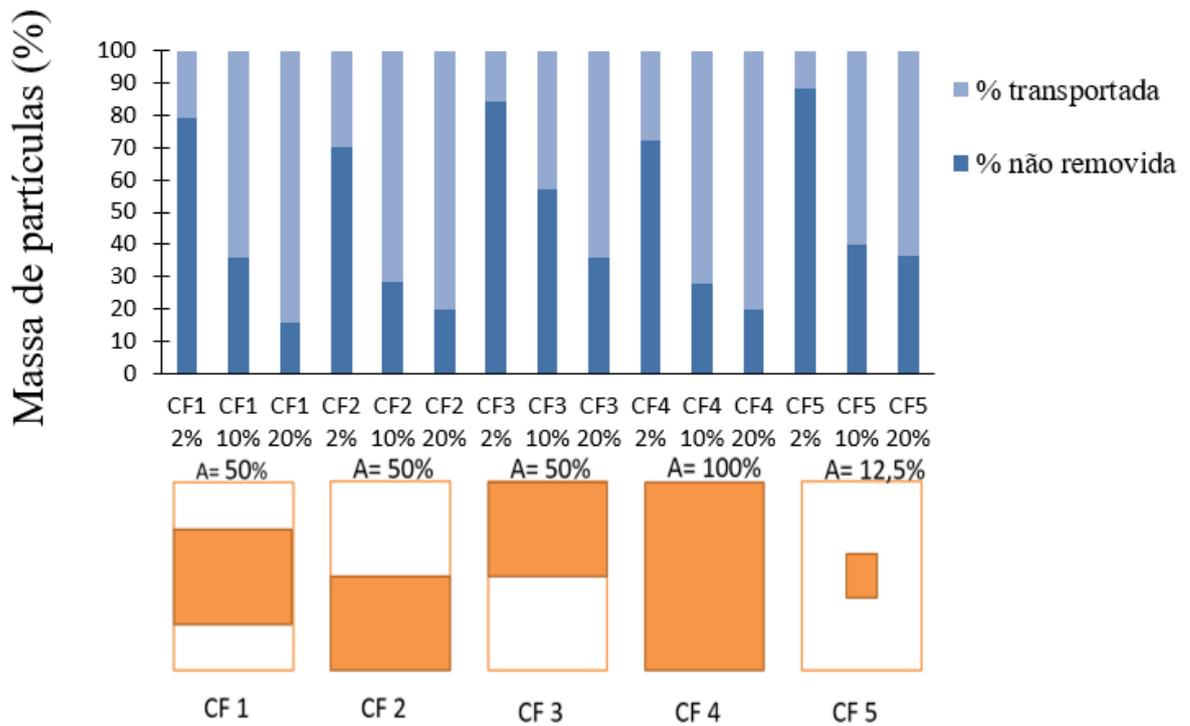
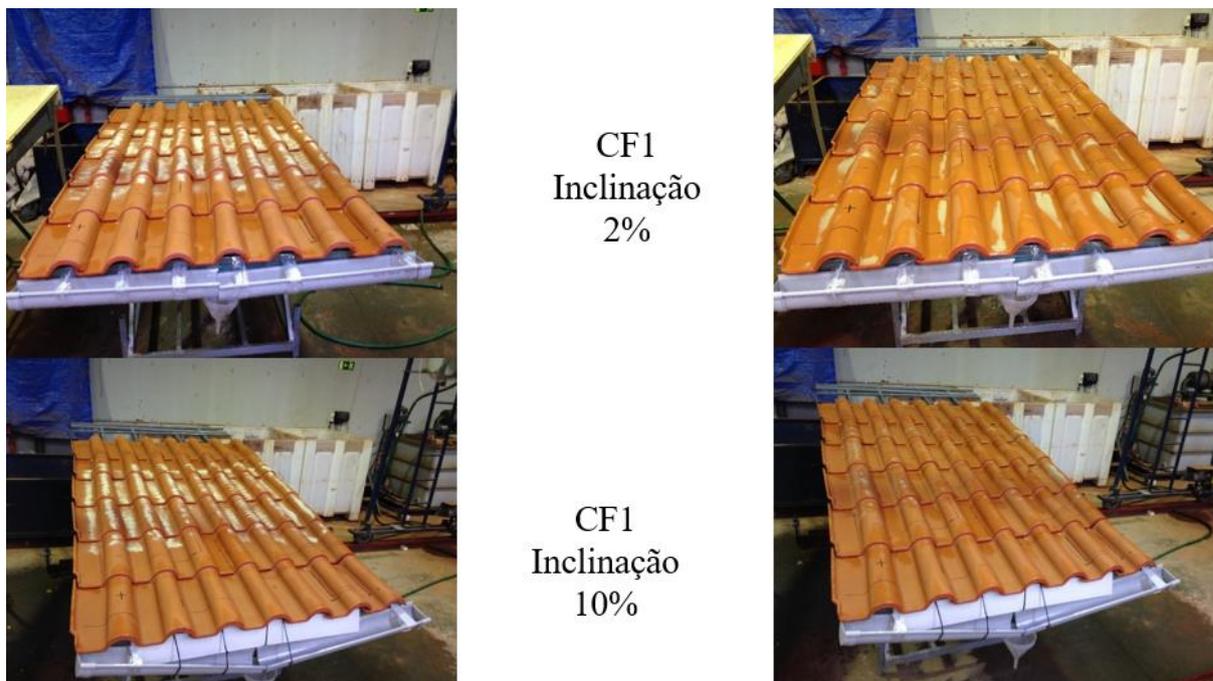


Figura 4.5- Percentagem de partículas transportadas e não removidas no telhado cerâmico para todas as configurações e declividades.

A Fotografia 4.1 permite observar a distribuição inicial das partículas no telhado cerâmico e a distribuição das partículas não removidas após a chuvada para a configuração CF1 e declividades 2% e 10% (em anexo apresentam-se as outras configurações).



Fotografia 4.1- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF1 e declividades 2% e 10%.

Das Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 observa-se que:

- Quanto maior a inclinação maior será a massa de partículas transportadas;
- A configuração 3 apresenta maior número de partículas não removidas tendo em conta a posição, uma vez que estas se encontram posicionadas na parte superior;
- A configuração 5 apresenta grande número de partículas não removidas evidenciando que o aumento da concentração diminui o transporte das partículas, mesmo ocorrendo maior intensidade de precipitação na parte central do telhado;
- Para a inclinação de 2%, cerca de 70 a 90% das partículas não são removidas, para a inclinação de 10%, cerca de 20 a 60% não são removidas e para 20% cerca de 10 a 40% não são removidas.

4.3. Chuvadas de baixa intensidade

Neste subcapítulo são analisados os resultados para chuvadas de baixa intensidade, possibilitando assim avaliar a relação entre o coeficiente de escoamento e a intensidade, contribuindo para uma melhor utilização da água da chuva.

Pode-se observar os hidrogramas obtidos nos casos de estudo para o uso do simulador (médias intensidades) e do sistema de produção de gotas (baixas intensidades). Na Figura 4.6 observa-se a média dos hidrogramas gerados pelas três chuvadas consecutivas para as diferentes intensidades.

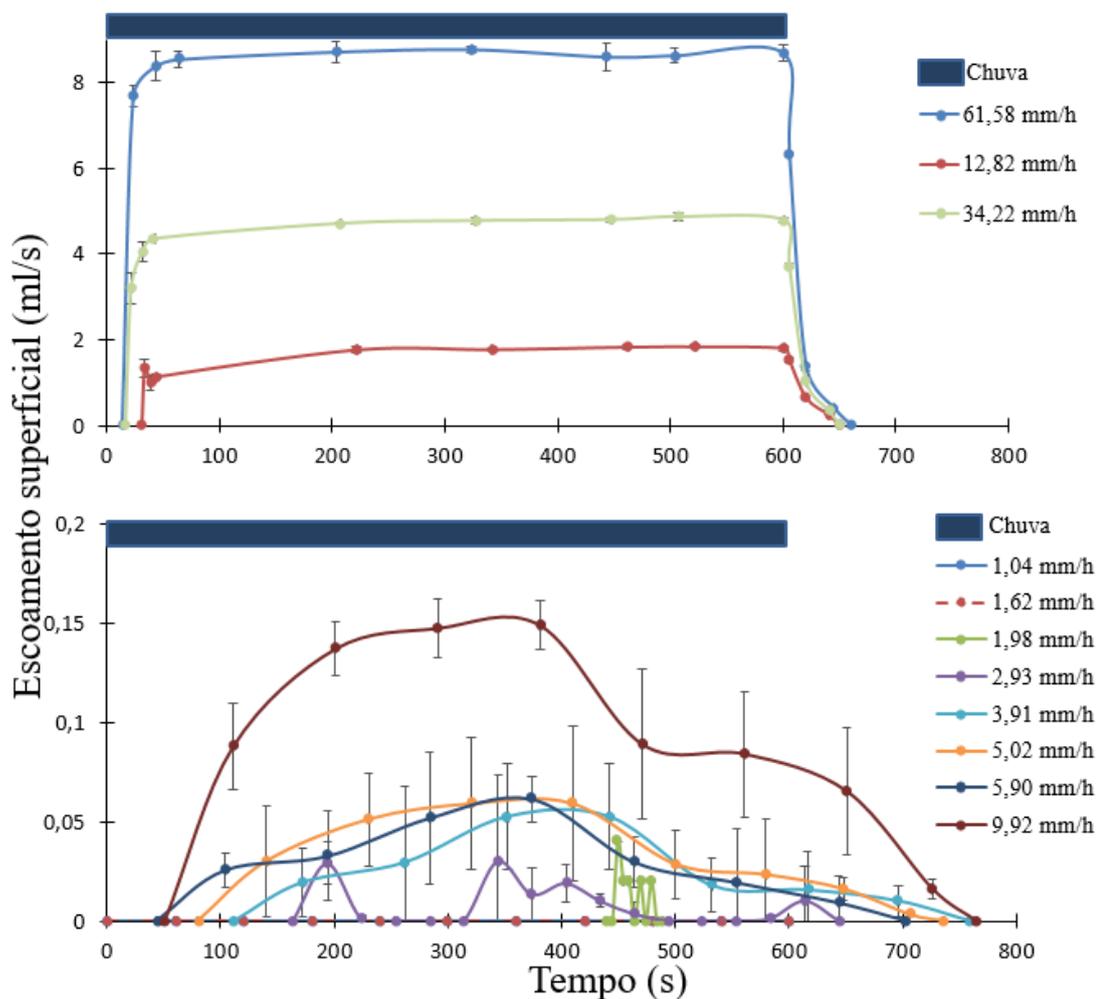


Figura 4.6- Hidrogramas médios do escoamento superficial do telhado cerâmico para as médias (acima) e baixas (abaixo) intensidades.

A Figura 4.7 apresenta os hidrogramas obtidos para as médias intensidades, mostrando a evolução obtida nas três chuvadas intercaladas com os períodos de secagem. Observa-se que para as três chuvadas os hidrogramas são semelhantes.

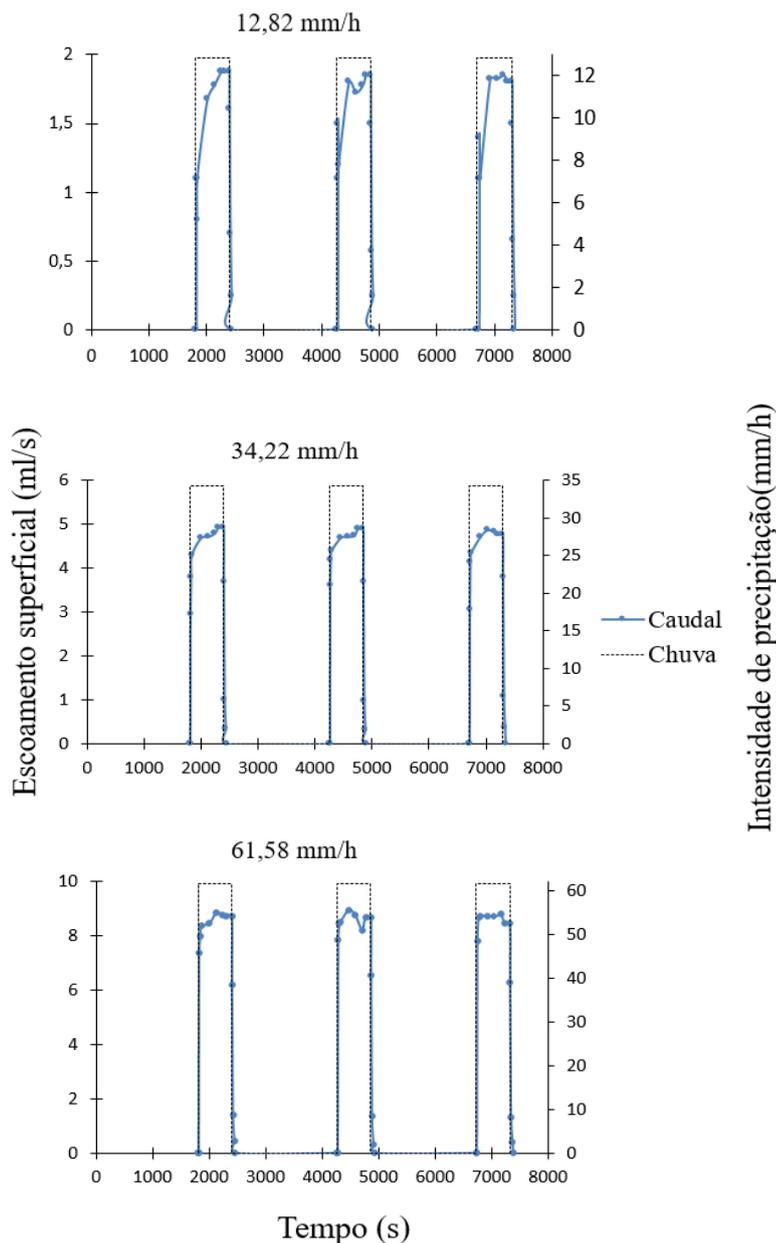


Figura 4.7- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para as médias intensidades de precipitação, obtidas através do simulador.

A Figura 4.8 apresenta os hidrogramas para as baixas intensidades de precipitação, para as três chuvadas consecutivas e alternadas com períodos de secagem do telhado.

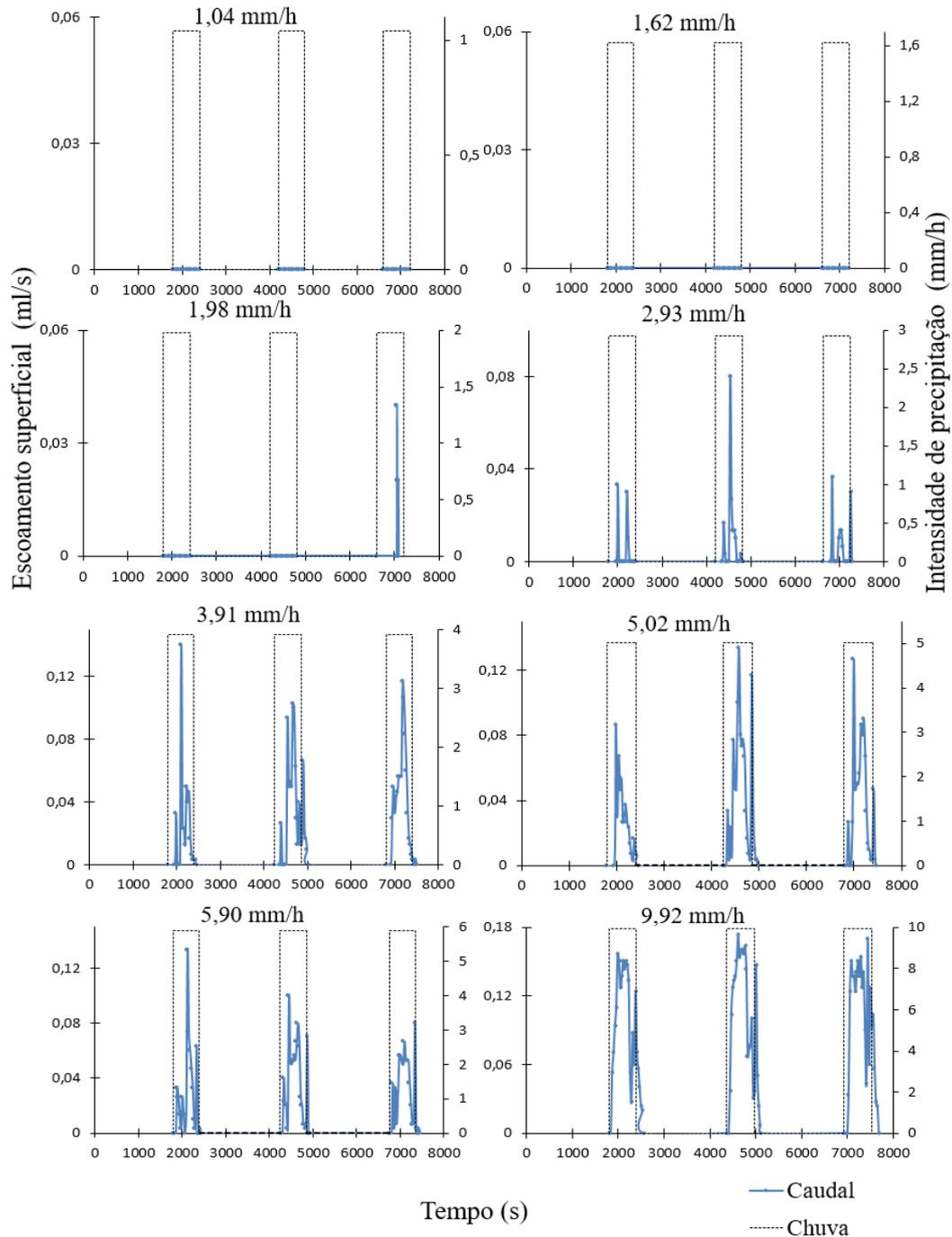


Figura 4.8- Hidrogramas de escoamento superficial do telhado cerâmico para as 8 baixas intensidades de precipitação, obtidas através do sistema de produção de gotas.

No Quadro 4.1 encontram-se os valores do volume médio escoado e precipitado, bem como o valor médio do coeficiente de escoamento para cada intensidade de precipitação.

	Intensidade (mm/h)	Volume Médio Precipitado (ml)	Volume Médio Escoado (ml)	Coeficiente Escoamento
Médias Intensidades	61,58	5220,00	5021,79	0,96
	34,22	3025,00	2737,06	0,90
	12,82	1090,00	976,63	0,90
Baixas Intensidades	9,92	103,00	69,30	0,67
	5,90	61,30	20,63	0,34
	5,02	52,10	22,97	0,44
	3,91	40,60	19,83	0,49
	2,93	30,40	3,50	0,12
	1,98	20,60	1,00	0,05
	1,62	16,80	0,00	0,00
	1,04	10,80	0,00	0,00

Quadro 4.1- Volume médio escoado e precipitado, coeficiente de escoamento e respetiva intensidade de precipitação.

Na Figura 4.9 pode-se observar o coeficiente de escoamento médio para cada intensidade de precipitação. Para as médias intensidades, o coeficiente de escoamento é aproximadamente 1,0. Para as baixas intensidades, o coeficiente de escoamento diminui bruscamente, com a diminuição da intensidade de precipitação.

A Figura 4.10 evidencia uma análise dos dados tendo em consideração os valores do tempo de início de escoamento, do caudal de ponta e do coeficiente de escoamento obtidos para as três chuvadas. O tempo de início do escoamento decresce com o aumento da intensidade de precipitação para as baixas intensidades, mas é sensivelmente constante para as médias intensidades.

A Figura 4.11 apresenta a correlação do coeficiente de escoamento com o caudal de ponta. Observa-se que o coeficiente de escoamento aumenta mais rapidamente com o caudal de ponta do que com a intensidade de precipitação.

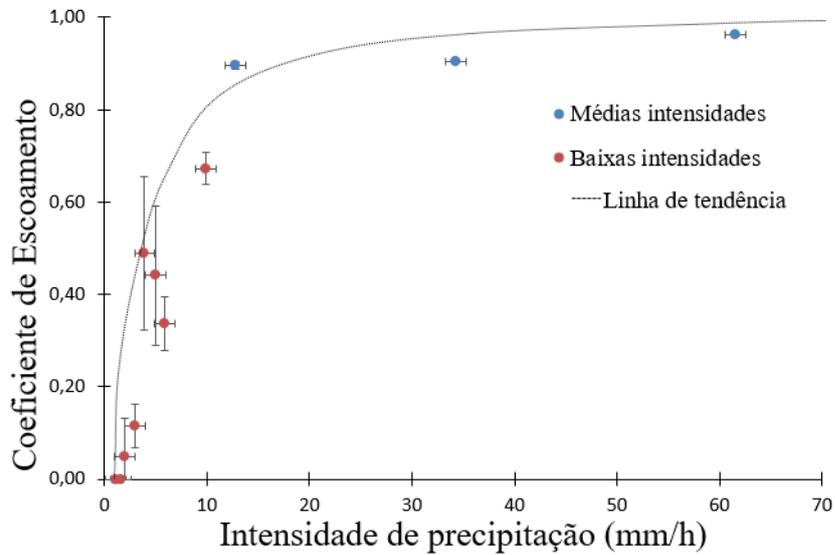


Figura 4.9- Coeficiente de escoamento médio em função da intensidade de precipitação.

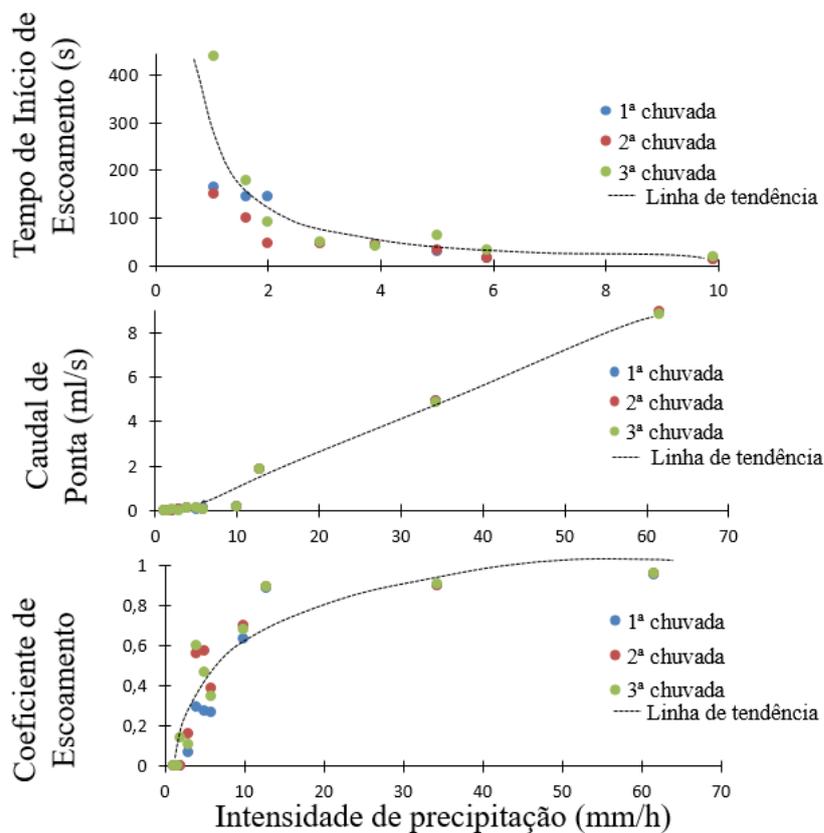


Figura 4.10- Tempo de início de escoamento, caudal de ponta e coeficiente de escoamento em função da intensidade de precipitação para as três chuvas.

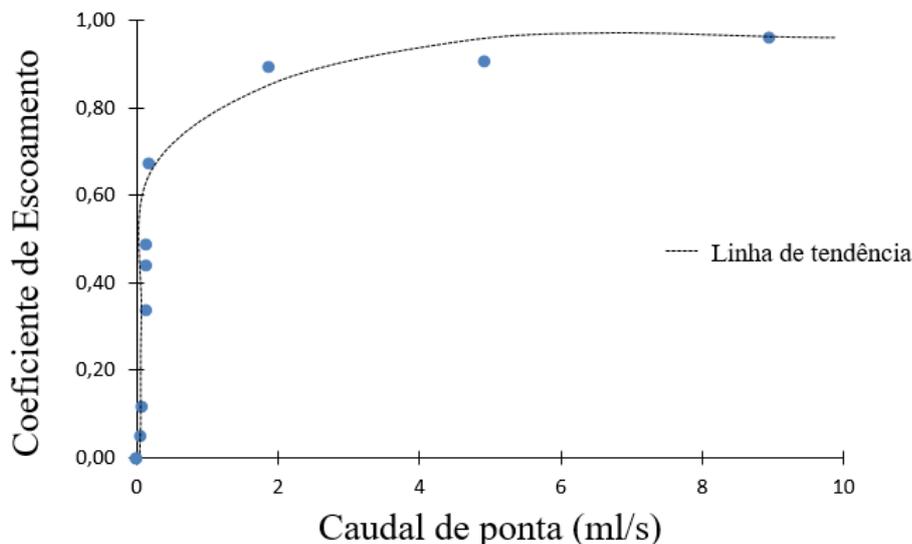


Figura 4.11- Correlação entre o coeficiente de escoamento e o caudal de ponta para chuvas com várias intensidades de precipitação.

Das Figuras 4.6 a 4.11 observa-se que:

- Para as médias e elevadas intensidades de precipitação, o coeficiente de escoamento mantêm-se elevado (0,90 a 0,96) desde a intensidade de precipitação de 12,82 mm/h a 61,58 mm/h, mostrando que quanto maior a intensidade de precipitação, mais o coeficiente de escoamento se aproxima de 1;
- Para chuvas pouco intensas, até 1,62 mm/h não ocorre escoamento superficial do telhado;
- Para a intensidade de precipitação de 1,98 mm/h ocorre um pequeno escoamento superficial apenas na terceira chuva;
- Só é gerado escoamento superficial no telhado para intensidades de precipitação de cerca de 3 mm/h para as três chuvas consecutivas intercaladas com períodos de secagem;
- Intensidades maiores resultam em hidrogramas semelhantes para as três chuvas sucessivas, facto que não se observa nas baixas intensidade.

5. Conclusões

Nos dias de hoje, a escassez de água aliada ao crescimento populacional e económico faz refletir acerca deste recurso natural. As políticas de poupança de água são cada vez mais fundamentais para a implementação do seu uso racional. Neste contexto surge o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis. Em todo mundo é cada vez mais recorrente a implementação de sistemas de aproveitamento de água de chuva a partir de telhados ou coberturas e sobretudo com legislação específica existente. Contudo, em Portugal só agora começa a ganhar dimensão, não existindo leis para regular esta técnica.

Os resultados obtidos nesta dissertação permitem obter algumas conclusões que podem contribuir no futuro para uma melhoria nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Destaca-se as chuvadas de baixa intensidade, na medida em que ainda não existem muitos estudos acerca deste tema, que possui grande potencial para futuras pesquisas.

O estudo laboratorial consistiu na simulação de chuva num telhado cerâmico e permitiu investigar o transporte de partículas, que simulam poluentes sólidos, e o escoamento gerado por chuvadas de baixa intensidade.

No caso do transporte de partículas, as declividades estudadas do telhado cerâmico foram de 2%, 10% e 20%. Em relação ao escoamento superficial do telhado, observou-se que quanto maior o declive do telhado mais cedo inicia o escoamento e mais depressa termina após a chuvada. A presença de partículas não influencia a forma dos hidrogramas de escoamento superficial.

Maiores inclinações, devido à maior capacidade de transporte, arrastam mais partículas. As partículas acumuladas na parte superior do telhado cerâmico são mais difíceis de remover, enquanto que partículas na parte inferior são mais facilmente transportadas. O aumento da concentração das partículas resulta num menor transporte das mesmas.

A análise do transporte de partículas em telhados cerâmicos é fundamental para o aproveitamento da água da chuva, uma vez que permite avaliar a quantidade de componente sólido poluente existente no escoamento. Permite assim definir tratamentos mais específicos ou a quantidade de água a ser retirada inicialmente nos sistemas de recolha (“*first-flush*”).

Para as chuvadas de baixa intensidade, foram efetuadas três chuvadas sucessivas intercaladas com períodos de secagem. Os resultados evidenciam que os hidrogramas do escoamento superficial resultantes de intensidades maiores estudadas (61,58, 34,22 e 12,82 mm/h), possuem uma forma mais regular e uniforme entre si. Contudo, quando a intensidade de precipitação é menor, inferior a 10 mm/h, os hidrogramas de escoamento superficial resultantes das três chuvadas sucessivas perdem a semelhança entre si e apresentam formatos irregulares.

O coeficiente de escoamento é aproximadamente constante e superior a 0,9 para as intensidades de precipitação superiores a 10 mm/h, no entanto diminui significativamente com a diminuição da intensidade de chuva.

A ocorrência de escoamento superficial só se verifica para a intensidade de precipitação de 1,98 mm/h e apenas na terceira chuvada, de forma que é pouco significativa. Chuvadas sucessivas, com duração de 10 minutos, intercaladas com 30 minutos de secagem só produzem escoamento para intensidades superiores a cerca de 3 mm/h.

O conhecimento do comportamento do escoamento em chuvadas de baixa intensidade de precipitação pode permitir a otimização de projetos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios ou habitações, na medida que não se considera as perdas no processo e os volumes escoados e gerados por essas chuvadas. O conhecimento de dados meteorológicos associado ao conhecimento do escoamento gerado para intensidades de precipitação mais baixas e intermitentes permite definir melhor a implementação de sistemas de captação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA@ (2016). <http://www.apambiente.pt/>. Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (página de internet oficial), Portugal.
- Aquality@,(2016).<http://www.aqua-lity.co.uk/wp-content/uploads/2012/05/White-City-Westfield-Shopping-Centre.pdf> .
- Domènech, L. & Saurí, D. (2011). “A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs”. *Journal Of Cleaner Production*, 19(6-7), 598-608.
- Ecoágua@ (2014). http://www.ecoagua.pt/noticias_detail-id=223.php.html . Ecoágua (página de internet oficial), Portugal.
- EA@ (2016). http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/scarcity_en.htm . European Commission. Water Scarcity & Droughts in the European Union (página de internet oficial), Bélgica.
- EEA@ (2012). <http://www.eea.europa.eu/pt/articles/a-agua-na-cidade> . European Environment Agency, “A água na cidade” (página de internet oficial), Portugal.
- Environment Agency UK (2010). “Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide”. Bristol, Reino Unido. <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho1110bten-e-e.pdf>>
- Egodawatta, P., Thomas, E., & Goonetilleke, A. (2009). “Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces. *Science Of The Total Environment*”, 407(6), 1834-1841.
- ENAAC (2015). “Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas”. Implementação até 2020. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, Portugal.
- ETA 0701 (2012). “Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em edifícios (SAAP)”. Especificação Técnica ANQIP. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), Portugal.
- ETA 0702 (2012). “Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais”. Especificação Técnica ANQIP. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), Portugal.
- Ghisi, E. & Ferreira, D. (2007). “Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil”. *Building And Environment*, 42(7), 2512-2522.

-
- Green Savers @, (2016). <http://greensavers.sapo.pt/2011/03/22/falta-de-agua-em-portugal-sera-uma-certeza-avisa-a-uniao-europeia/> . “Falta de água em Portugal será uma certeza, avisa a União Europeia”.
- Hoekstra, A. (2011). *The water footprint assessment manual*. London, Earthscan.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2014). “Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]”. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Quinteiro, P., Amaral J., Arroja, L. & Dias, C. (2016). “PEGADA DE ÁGUA – O QUE É, PARA QUE SERVE, COMO FAZER? Pegada de água verde: o caso de estudo do *Eucalyptus globulus*”. In resumos do 13º Congresso da Água, Lisboa, Portugal.
- May, S. (2004). “Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações”. Dissertação para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.
- Marinoski, A.K. (2007). “Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC”. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Natural News@ (2010). http://www.naturalnews.com/029286_rainwater_collection_water.html . “Collecting rainwater now illegal in many states as Big Government claims ownership over our water” (página de internet oficial), EUA.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), (2015). “OECD Principles on Water Governance”. <<https://www.oecd.org/gov/regional-policy/OECD-Principles-Water-portuguese.pdf>>
- PNA (2015). “Plano Nacional da Água”. Agência Portuguesa do Ambiente. Zeco- Gestão do Ambiente e Economia Ecológica, Lisboa, Portugal.
- PNUEA (2012). “Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água”. Implementação 2012-2020. Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa, Portugal.
- Público@ (2010). <https://www.publico.pt/sociedade/noticia/portugal-tem-uma-das-pegadas-hidricas-mais-elevadas-entre-140-paises-1424606> . “Portugal tem uma das pegadas hídricas mais elevadas entre 140 países” (página internet oficial), Portugal.
- Rainharvest@ (2016). http://rainharvesting.co.uk/harvesting_rainwater_guide/ . RainHarvest Systems (página de internet oficial), Georgia, Estados Unidos da América.
- Silva, C., Sousa, V., & Carvalho, N. (2015). “Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. Resources, Conservation And Recycling”, 94, 21-34.
-

-
- Sivanappan, R. K. (2006). “Rain Water Harvesting, Conservation and Management Strategies for Urban and Rural Sectors”, National Seminar on Rainwater Harvesting and Water Management, Nagpur.
- Tomaz, P. (2003). “Água da Chuva: Aproveitamento de Água da Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis”. São Paulo, Brasil.
- UNEP, Rainwater harvesting and utilisation-an environmentally sound approach for sustainable urban water management: an introductory guide for decision makers, United Nations: Division of Technology, Industry and Economics, United Nations Environment Programme (UNEP) 2002.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), (2016). “Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016”. < <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244040por.pdf>>
- UNRIC@ (2015). <https://www.unric.org/pt/actualidade/31803-fao-alerta-para-a-escassez-de-agua-em-2050-e-apela-a-maior-acao-por-parte-dos-governos> . FAO alerta para a escassez de água em 2050 e apela a maior ação por parte dos governos (página de internet oficial), Portugal.
- Villarreal, E. & Dixon, A. (2005). “Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. Building And Environment”, 40(9), 1174-1184.
- WWF@ (2011). http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/relsum_pegadahidrica.pdf . Pegada Hídrica em Portugal: Uma análise da pegada de consumo extra (página de internet oficial).

ANEXOS

Anexo A- Curva granulométrica das partículas

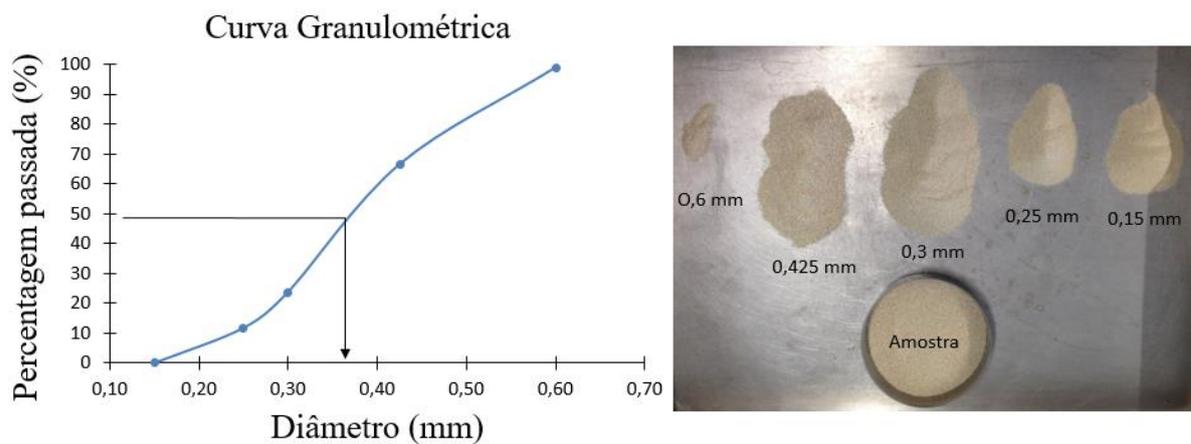


Figura A.1- Curva granulométrica das partículas e respectiva fotografia da sua distribuição na amostra.

Anexo B- Transporte de partículas em telhados cerâmicos

<u>Hidrograma</u> <u>Inclinação</u> <u>20%</u>	Média Caudal (ml/s)	Desvio Padrão	Tempo (s)	<u>Hidrograma</u> <u>Inclinação</u> <u>10%</u>	Média Caudal (ml/s)	Desvio Padrão	Tempo (s)	<u>Hidrograma</u> <u>Inclinação</u> <u>2%</u>	Média Caudal (ml/s)	Desvio Padrão	Tempo (s)
	0,00	0,00	9,33		0,00	0,00	9,60		0,00	0,00	13,76
	50,09	2,90	11,83		53,31	8,01	12,10		44,11	7,65	16,26
	83,58	7,09	16,83		83,07	4,55	17,10		71,42	3,65	21,26
	93,50	1,78	21,83		93,57	4,26	22,10		85,28	1,23	26,26
	92,25	3,39	26,83		91,27	2,14	27,10		91,22	3,36	31,26
	92,71	2,87	31,83		92,40	3,03	32,10		96,08	3,38	36,26
	90,70	1,96	36,83		88,48	6,74	37,10		90,14	3,54	41,26
	95,93	0,02	71,83		97,36	2,72	72,10		101,27	2,09	76,26
	93,10	3,01	101,83		97,79	2,91	102,10		98,06	2,30	106,26
	100,49	2,63	131,83		103,26	6,26	132,10		97,57	1,14	136,26
	98,53	3,15	161,83		97,66	2,91	162,10		98,40	4,32	166,26
	95,83	0,41	182,50		102,38	2,53	182,50		105,75	2,13	182,50
	30,76	0,49	190,00		37,53	3,94	190,00		57,61	2,49	190,00
	8,30	0,31	202,50		9,76	0,77	202,50		17,54	0,65	202,50
	2,68	0,08	225,00		3,29	0,13	225,00		5,55	0,03	225,00
	0,00	0,00	264,00		0,00	0,00	277,60		0,00	0,00	310,00

Quadro B.1- Dados dos hidrogramas da média do caudal em função do tempo para as três inclinações com respetivo desvio padrão.

<u>2%</u> <u>CF1</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>2%</u> <u>CF2</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>2%</u> <u>CF3</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>2%</u> <u>CF4</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>2%</u> <u>CF5</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)
	0,00	15,39		0,00	16,30		0,00	12,92		0,00	13,30		0,00	16,30
	45,24	17,89		55,40	18,80		33,38	15,42		43,48	15,80		49,92	18,80
	81,40	22,89		81,48	23,80		66,30	20,42		74,10	20,80		71,18	23,80
	81,00	27,89		116,72	28,80		77,46	25,42		86,54	25,80		88,94	28,80
	88,90	67,89		100,12	68,80		100,24	65,42		111,12	65,80		90,60	68,80
	95,28	107,89		98,86	108,80		98,56	105,42		99,48	105,80		103,02	108,80
	97,84	137,89		102,92	138,80		108,98	135,42		95,44	135,80		105,74	138,80
	98,00	157,89		100,84	158,80		95,12	155,42		103,00	155,80		110,54	158,80
	94,18	182,89		66,08	183,80		96,74	180,42		94,64	180,80		103,90	183,80
	24,62	197,89		16,62	198,80		32,62	195,42		30,70	195,80		23,88	198,80
	4,70	207,89		4,64	208,80		6,48	205,42		5,46	205,80		4,32	208,80
	0,00	305,00		0,00	305,00		0,00	303,00		0,00	302,00		0,00	315,00

Quadro B.2- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 2% para as todas configurações.

<u>10%</u> <u>CF1</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>10%</u> <u>CF2</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>10%</u> <u>CF3</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>10%</u> <u>CF4</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>10%</u> <u>CF5</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)
	0,00	12,30		0,00	13,10		0,00	11,50		0,00	12,90		0,00	13,46
	43,04	14,80		63,68	15,60		45,20	14,00		56,42	15,40		57,12	15,96
	83,18	19,80		85,34	20,60		72,34	19,00		86,26	20,40		92,08	20,96
	96,24	24,80		88,96	25,60		90,46	24,00		91,18	25,40		77,50	25,96
	96,86	64,80		95,54	65,60		96,18	64,00		104,62	65,40		90,70	65,96
	95,82	104,80		101,42	105,60		99,08	104,00		97,90	105,40		98,28	105,96
	100,78	134,80		106,46	135,60		102,72	134,00		100,50	135,40		97,28	135,96
	100,34	154,80		99,14	155,60		99,44	154,00		118,12	155,40		104,04	155,96
	97,64	179,80		100,56	180,60		105,20	179,00		103,32	180,40		95,84	180,96
	19,86	194,80		19,70	195,60		22,84	194,00		19,46	195,40		19,14	195,96
	3,54	204,80		3,40	205,60		3,64	204,00		3,84	205,40		2,56	205,96
	0,00	283,00		0,00	287,00		0,00	287,00		0,00	289,00		0,00	277,00

Quadro B.3- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 10% para as todas configurações.

<u>20%</u> <u>CF1</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>20%</u> <u>CF2</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>20%</u> <u>CF3</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>20%</u> <u>CF4</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)	<u>20%</u> <u>CF5</u>	Caudal (ml/s)	Tempo (s)
	0,00	10,00		0,00	10,00		0,00	10,00		0,00	10,00		0,00	10,00
	51,88	12,50		53,59	12,50		39,07	12,50		52,47	12,50		39,83	12,50
	94,86	17,50		89,59	17,50		76,22	17,50		89,35	17,50		84,79	17,50
	100,21	22,50		108,71	22,50		94,38	22,50		101,21	22,50		100,58	22,50
	99,27	37,50		99,11	37,50		98,36	37,50		100,30	37,50		107,46	37,50
	95,59	67,50		98,03	67,50		99,15	67,50		97,82	67,50		102,38	67,50
	98,49	97,50		97,35	97,50		94,65	97,50		99,09	97,50		101,31	97,50
	97,60	127,50		98,90	127,50		98,79	127,50		100,18	127,50		98,45	127,50
	99,13	157,50		99,69	157,50		99,99	157,50		100,64	157,50		100,23	157,50
	99,13	180,00		99,69	180,00		99,99	180,00		100,64	180,00		100,23	180,00
	13,13	190,00		14,21	190,00		14,81	190,00		13,74	190,00		17,50	190,00
	3,73	210,00		4,05	210,00		4,32	210,00		3,33	210,00		4,58	210,00
	0,00	251,00		0,00	251,00		0,00	251,00		0,00	251,00		0,00	251,00

Quadro B.4- Dados dos hidrogramas do caudal em função do tempo para a inclinação de 20% para as todas configurações.

<u>2%</u> <u>CF1</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>2%</u> <u>CF2</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>2%</u> <u>CF3</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>2%</u> <u>CF4</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>2%</u> <u>CF5</u>	Tempo (s)	Partículas (g)
	15,39	0,00		16,30	0,00		12,92	0,00		13,30	0,00		16,30	0,00
	17,89	0,10		18,80	2,00		15,42	0,00		15,80	1,40		18,80	0,10
	22,89	0,90		23,80	3,10		20,42	0,20		20,80	2,40		23,80	0,30
	27,89	1,30		28,80	4,40		25,42	0,30		25,80	2,70		28,80	0,60
	67,89	1,90		68,80	3,00		65,42	1,30		65,80	3,00		68,80	0,90
	107,89	1,90		108,80	2,50		105,42	1,60		105,80	2,30		108,80	1,30
	137,89	2,20		138,80	2,40		135,42	1,80		135,80	2,20		138,80	1,30
	157,89	2,00		158,80	2,20		155,42	1,70		155,80	2,20		158,80	1,20
	182,89	1,60		183,80	0,30		180,42	1,70		180,80	1,90		183,80	1,10
	197,89	0,00		198,80	0,00		195,42	0,00		195,80	0,00		198,80	0,00
	207,89	0,00		208,80	0,00		205,42	0,00		205,80	0,00		208,80	0,00
	305,00	0,00		305,00	0,00		303,00	0,00		302,00	0,00		315,00	0,00

Quadro B.5- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 2% para as todas configurações.

<u>10%</u> <u>CF1</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>10%</u> <u>CF2</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>10%</u> <u>CF3</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>10%</u> <u>CF4</u>	Tempo (s)	Partículas (g)	<u>10%</u> <u>CF5</u>	Tempo (s)	Partículas (g)
	12,30	0,00		13,10	0,00		11,50	0,00		12,90	0,00		13,46	0,00
	14,80	2,00		15,60	21,50		14,00	0,40		15,40	17,00		15,96	0,80
	19,80	10,10		20,60	26,30		19,00	1,60		20,40	22,90		20,96	6,40
	24,80	16,40		25,60	23,80		24,00	5,30		25,40	21,90		25,96	7,30
	64,80	9,60		65,60	5,80		64,00	6,70		65,40	6,30		65,96	8,80
	104,80	2,00		105,60	1,10		104,00	3,20		105,40	1,50		105,96	5,60
	134,80	1,30		135,60	0,90		134,00	2,30		135,40	1,80		135,96	2,60
	154,80	1,30		155,60	0,90		154,00	2,00		155,40	1,80		155,96	1,80
	179,80	1,10		180,60	0,80		179,00	1,70		180,40	1,20		180,96	1,60
	194,80	0,00		195,60	0,00		194,00	0,20		195,40	0,00		195,96	0,10
	204,80	0,00		205,60	0,00		204,00	0,00		205,40	0,00		205,96	0,00
	283,00	0,00		287,00	0,00		287,00	0,00		289,00	0,00		277,00	0,00

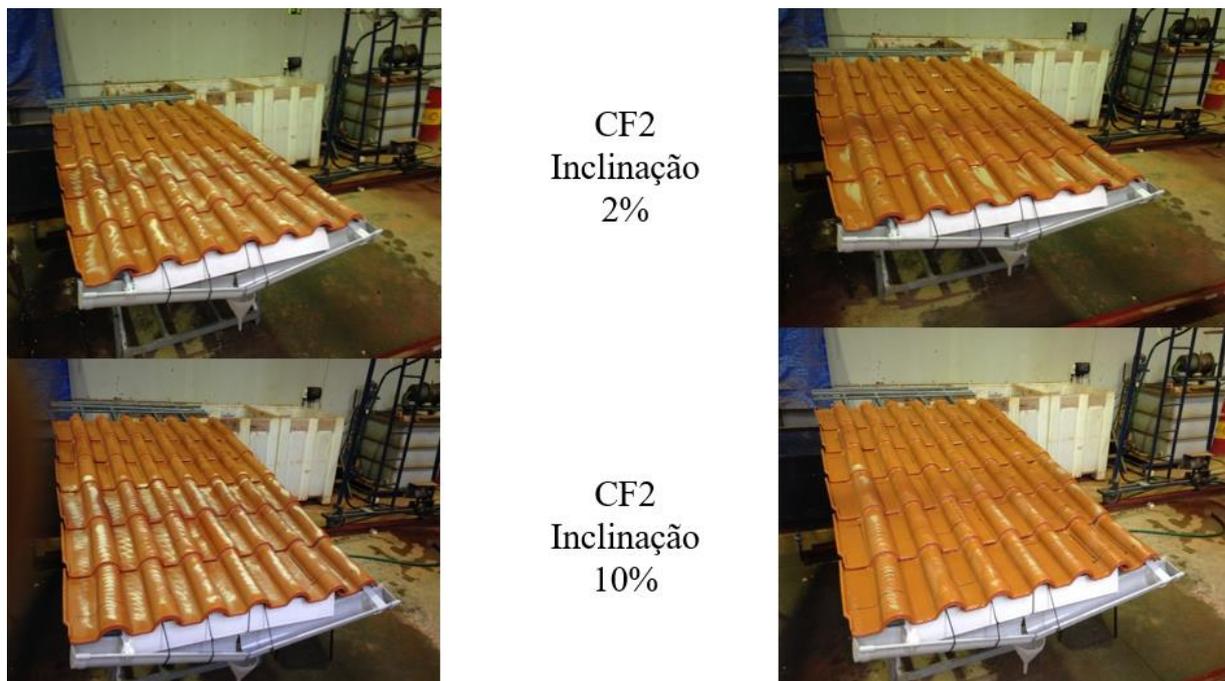
Quadro B.6- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 10% para as todas configurações.

20% CF1	Tempo (s)	Partículas (g)	20% CF2	Tempo (s)	Partículas (g)	20% CF3	Tempo (s)	Partículas (g)	20% CF4	Tempo (s)	Partículas (g)	20% CF5	Tempo (s)	Partículas (g)
	10,00	0,00		10,00	0,00		10,00	0,00		10,00	0,00		10,00	0,00
	12,50	26,67		12,50	50,57		12,50	0,63		12,50	44,87		12,50	0,27
	17,50	68,80		17,50	74,47		17,50	10,70		17,50	61,80		17,50	23,40
	22,50	54,43		22,50	49,37		22,50	29,80		22,50	38,10		22,50	48,07
	37,50	4,80		37,50	1,70		37,50	14,67		37,50	6,90		37,50	9,70
	67,50	1,83		67,50	1,03		67,50	3,60		67,50	2,53		67,50	1,23
	97,50	1,47		97,50	0,77		97,50	2,10		97,50	1,50		97,50	1,13
	127,50	1,13		127,50	0,77		127,50	1,77		127,50	1,10		127,50	0,90
	157,50	0,83		157,50	0,70		157,50	1,37		157,50	0,90		157,50	0,83
	180,00	0,83		180,00	0,70		180,00	1,37		180,00	0,90		180,00	0,83
	190,00	0,03		190,00	0,00		190,00	0,03		190,00	0,13		190,00	0,00
	210,00	0,00		210,00	0,10		210,00	0,00		210,00	0,03		210,00	0,00
	251,00	0,00		251,00	0,00		251,00	0,00		251,00	0,00		251,00	0,00

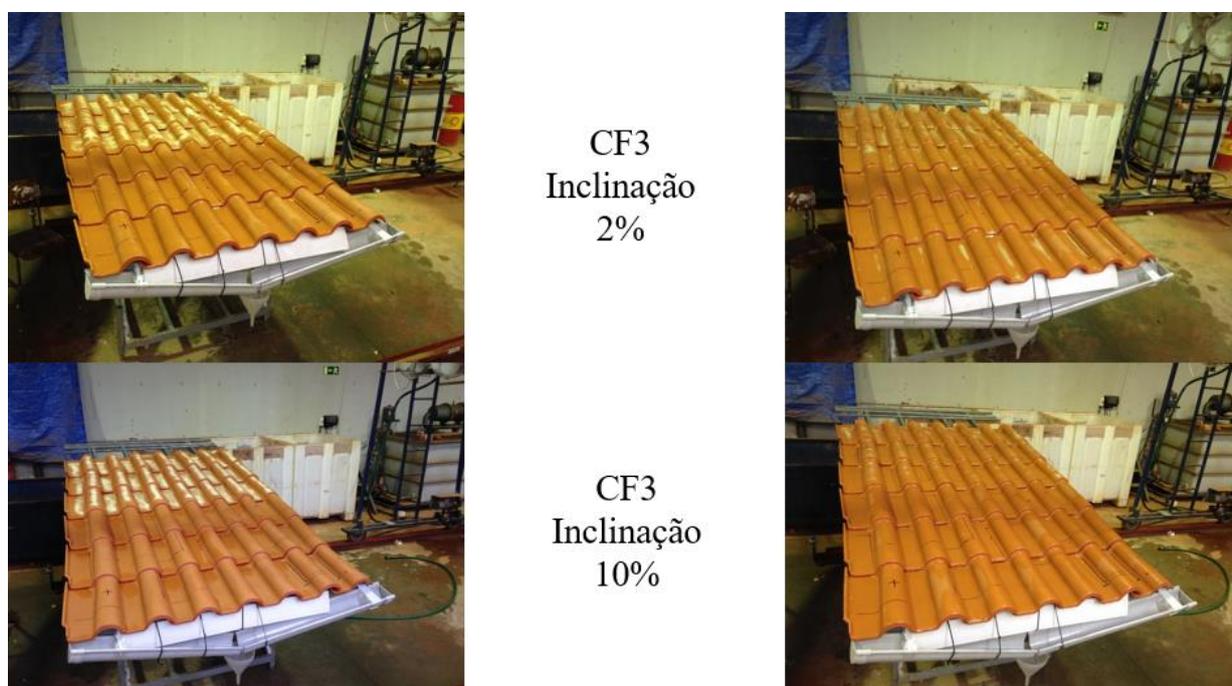
Quadro B.7- Dados da massa de partículas em função do tempo para a inclinação de 20% para todas as configurações.

Inclinação	Configuração	Massa Transportada (g)	Massa Não Removida (g)	% Transportada	% Não Removida
2%	CF1	61,68	238,33	20,56	79,44
	CF2	89,00	211,00	29,67	70,33
	CF3	46,60	253,40	15,53	84,47
	CF4	84,20	215,80	28,07	71,93
	CF5	35,68	264,33	11,89	88,11
10%	CF1	192,95	107,05	64,32	35,68
	CF2	215,38	84,63	71,79	28,21
	CF3	129,55	170,45	43,18	56,82
	CF4	217,00	83,00	72,33	27,67
	CF5	180,60	119,40	60,20	39,80
20%	CF1	252,36	47,64	84,12	15,88
	CF2	239,96	60,04	79,99	20,01
	CF3	192,89	107,11	64,30	35,70
	CF4	241,24	58,76	80,41	19,59
	CF5	190,36	109,64	63,45	36,55

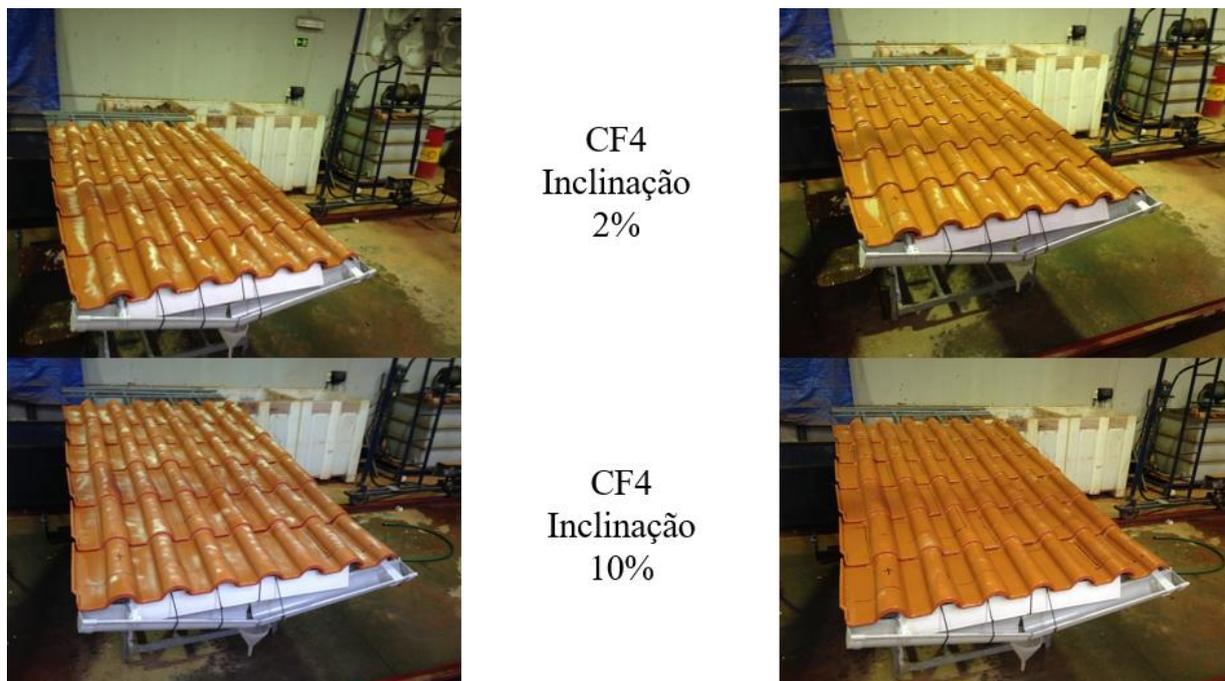
Quadro B.8- Dados da massa transportada e não removida e respectiva percentagem para todas as inclinações e configurações.



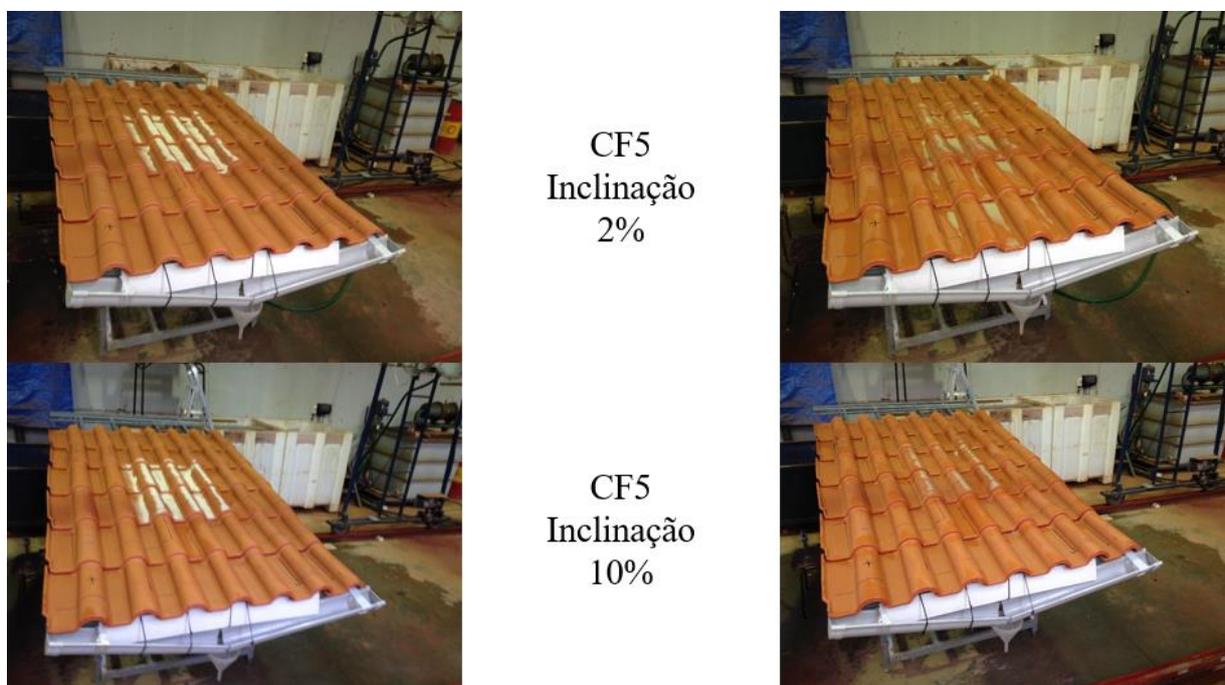
Fotografia B.1- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF2 e declividades 2% e 10%.



Fotografia B.2- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF3 e declividades 2% e 10%.



Fotografia B.3- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF4 e declividades 2% e 10%.



Fotografia B.4- Distribuição das partículas no telhado cerâmico antes e após a chuvada para CF5 e declividades 2% e 10%.

Anexo C- Chuvadas de baixa intensidade de precipitação

Médias	61,58	34,22	12,82					
Intensidades	mm/h	mm/h	mm/h					
Intensidade em cada telha (mm/h)	35,93	9,30	0,64					
	52,39	17,21	2,71					
	68,28	53,61	21,49					
	92,83	72,03	29,69					
	73,48	41,94	10,40					
	28,59	10,46	1,73					
Baixas	1,04	1,62	1,98	2,93	3,91	5,02	5,90	9,92
Intensidades	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h
Intensidade em cada telha (mm/h)	0,81	1,96	1,68	2,54	4,04	6,12	5,31	8,90
	1,68	2,54	2,14	4,16	3,58	3,47	5,31	10,57
	1,04	0,64	0,98	2,66	4,45	5,66	6,59	10,40
	0,87	1,62	1,96	1,91	3,52	5,03	4,79	11,21
	0,98	2,08	2,66	2,25	3,47	5,43	4,79	7,45
	0,87	0,87	2,48	4,04	4,39	4,39	8,61	10,98

Figura C.1- Distribuição espacial das intensidades de precipitação em cada telha da linha do telhado cerâmico para todas as intensidades.

61,58 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,0	13,0	0,0	14,0	0,0	14,0	0,0	0,0
7,4	23,0	7,9	24,0	7,8	24,0	7,7	0,3
8,0	43,0	8,5	44,0	8,7	44,0	8,4	0,2
8,4	63,0	8,5	64,0	8,7	64,0	8,5	0,3
8,5	203,0	9,0	204,0	8,8	204,0	8,7	0,08
8,9	323,0	8,8	324,0	8,7	324,0	8,6	0,3
8,8	443,0	8,2	444,0	8,8	444,0	8,6	0,2
8,8	503,0	8,7	504,0	8,5	504,0	8,7	0,2
8,8	600,0	8,7	600,0	8,5	600,0	8,7	0,03
6,2	605,0	6,6	605,0	6,3	605,0	6,4	0,07
1,4	620,0	1,4	620,0	1,3	620,0	1,4	0,0
0,5	645,0	0,3	645,0	0,4	645,0	0,4	0,5
0,0	660,0	0,0	660,0	0,0	660,0	0,0	0,0

Quadro C.1- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 61,58 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

34,22 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,0	16,0	0,0	17,0	0,0	18,0	0,0	0,0
3,0	21,0	3,6	22,0	3,1	23,0	3,2	0,4
3,8	31,0	4,2	32,0	4,2	33,0	4,1	0,05
4,3	41,0	4,4	42,0	4,4	43,0	4,3	0,02
4,7	206,0	4,7	207,0	4,7	208,0	4,7	0,08
4,7	326,0	4,7	327,0	4,9	328,0	4,8	0,05
4,8	446,0	4,8	447,0	4,9	448,0	4,8	0,08
4,9	506,0	4,9	507,0	4,8	508,0	4,9	0,06
4,9	600,0	4,9	600,0	4,8	600,0	4,9	0,05
3,7	605,0	3,7	605,0	3,8	605,0	3,7	0,03
1,0	620,0	1,0	620,0	1,1	620,0	1,0	0,0
0,4	640,0	0,3	640,0	0,4	640,0	0,35	1,0
0,0	650,0	0,0	650,0	0,0	650,0	0,0	0,0

Quadro C.2- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 34,22 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

12,82 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,0	30,0	0,0	32,0	0,0	32,0	0,0	0,0
1,1	32,5	1,5	34,5	1,4	34,5	1,3	0,2
0,8	37,5	1,1	39,5	1,1	39,5	1,0	0,2
1,1	42,5	1,2	44,5	1,1	44,5	1,1	0,05
1,7	220,0	1,8	222,0	1,8	222,0	1,8	0,08
1,8	340,0	1,7	342,0	1,8	342,0	1,8	0,05
1,9	460,0	1,8	462,0	1,9	462,0	1,8	0,05
1,9	520,0	1,9	522,0	1,8	522,0	1,8	0,04
1,9	600,0	1,9	600,0	1,8	600,0	1,8	0,06
1,6	605,0	1,5	605,0	1,5	605,0	1,5	0,06
0,7	620,0	0,6	620,0	0,7	620,0	0,6	0,0
0,3	640,0	0,3	640,0	0,3	640,0	0,3	1,6
0,0	650,0	0,0	650,0	0,0	650,0	0,0	0,0

Quadro C.3-Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 12,82 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

1,98 mm/h			
Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	439,00	0,00	0,00
0,00	444,00	0,50	0,00
0,04	449,00	0,00	0,00
0,02	454,00	0,00	0,00
0,02	459,00	0,00	0,00
0,00	464,00	0,00	0,00
0,02	469,00	0,00	0,00
0,00	474,00	0,00	0,00
0,02	479,00	0,00	0,00
0,00	484,00	0,00	0,00
0,00	489,00	0,00	0,00

Quadro C.4- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 1,98 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

2,93 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	164,00	0,00	150,00	0,00	178,00	0,00	0,00
0,03	194,00	0,02	180,00	0,04	208,00	0,03	0,01
0,00	224,00	0,003	210,00	0,00	238,00	0,001	0,002
0,00	254,00	0,00	240,00	0,00	268,00	0,00	0,00
0,00	284,00	0,00	270,00	0,00	298,00	0,00	0,00
0,00	314,00	0,00	300,00	0,00	328,00	0,00	0,00
0,00	344,00	0,10	330,00	0,01	358,00	0,03	0,04
0,00	374,00	0,03	360,00	0,01	388,00	0,01	0,01
0,03	404,00	0,01	390,00	0,01	418,00	0,02	0,01
0,01	434,00	0,01	420,00	0,01	448,00	0,010	0,003
0,00	464,00	0,01	450,00	0,00	478,00	0,003	0,01
0,00	494,00	0,00	480,000	0,00	508,00	0,00	0,00
0,00	524,00	0,00	510,00	0,00	538,00	0,00	0,00
0,00	554,00	0,00	540,00	0,00	568,00	0,00	0,00
0,00	584,00	0,00	570,00	0,00	598,00	0,001	0,002
0,00	614,00	0,00	600,00	0,03	628,00	0,01	0,02

Quadro C.5- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 2,93 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

3,91 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	146,00	0,00	99,00	0,00	91,00	0,00	0,00
0,03	176,00	0,03	129,00	0,03	121,00	0,03	0,003
0,00	206,00	0,00	159,00	0,05	151,00	0,02	0,03
0,00	236,00	0,00	189,00	0,03	181,00	0,01	0,02
0,00	266,00	0,00	219,00	0,04	211,00	0,01	0,03
0,10	296,00	0,00	249,00	0,05	241,00	0,06	0,07
0,02	326,00	0,10	279,00	0,06	271,00	0,06	0,04
0,02	356,00	0,05	309,0	0,06	301,00	0,04	0,02
0,01	386,00	0,05	339,00	0,06	331,00	0,04	0,02
0,10	416,00	0,05	369,00	0,10	361,00	0,07	0,04
0,04	446,00	0,10	399,00	0,00	391,00	0,08	0,04
0,05	476,00	0,10	429,00	0,08	421,00	0,08	0,03
0,02	506,00	0,06	459,00	0,06	451,00	0,05	0,03
0,01	536,00	0,03	489,00	0,03	481,00	0,02	0,01
0,003	566,00	0,01	519,00	0,02	511,00	0,01	0,01
0,003	596,00	0,04	549,00	0,01	541,00	0,02	0,02
0,003	626,00	0,01	579,00	0,01	571,00	0,01	0,01
0,00	656,00	0,01	609,00	0,003	601,00	0,01	0,01
0,00	686,00	0,07	639,00	0,00	631,00	0,02	0,04
0,00	716,00	0,02	669,00	0,003	661,00	0,01	0,01
0,00	746,00	0,02	699,00	0,00	691,00	0,01	0,01
0,00	776,00	0,01	729,00	0,00	721,00	0,003	0,00
0,00	806,00	0,00	759,00	0,00	751,00	0,01	0,00

Quadro C.6- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 3,91 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

5,02 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	145,00	0,00	46,00	0,00	50,00	0,00	0,00
0,09	175,00	0,03	76,00	0,03	80,00	0,05	0,03
0,03	205,00	0,003	106,00	0,00	110,00	0,01	0,02
0,07	235,00	0,02	136,00	0,00	140,00	0,03	0,03
0,05	265,00	0,01	166,00	0,03	170,00	0,03	0,02
0,05	295,00	0,08	196,00	0,13	200,00	0,09	0,04
0,03	325,00	0,05	226,00	0,05	230,00	0,04	0,01
0,03	355,00	0,05	256,00	0,05	260,00	0,04	0,01
0,04	385,00	0,10	286,00	0,05	290,00	0,06	0,03
0,03	415,00	0,13	316,00	0,06	320,00	0,07	0,06
0,02	445,00	0,08	346,00	0,09	350,00	0,06	0,03
0,01	475,00	0,07	376,00	0,08	380,00	0,06	0,04
0,01	505,00	0,08	406,00	0,09	410,00	0,06	0,04
0,003	535,00	0,07	436,00	0,07	440,00	0,05	0,04
0,02	565,00	0,03	466,00	0,03	470,00	0,03	0,01
0,01	595,00	0,02	496,00	0,01	500,00	0,01	0,01
0,01	625,00	0,01	526,00	0,01	530,00	0,01	0,00
0,00	655,00	0,003	556,00	0,003	560,00	0,002	0,00
0,00	685,00	0,12	586,00	0,003	590,00	0,06	0,08
0,00	715,00	0,03	616,00	0,05	620,00	0,04	0,01
0,00	745,00	0,01	646,00	0,003	650,00	0,01	0,005
0,00	775,00	0,003	676,00	0,00	680,00	0,001	0,002
0,00	805,00	0,003	706,00	0,00	710,00	0,003	0,00
0,00	835,00	0,00	736,00	0,00	740,00	0,00	0,00

Quadro C.7- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 5,02 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

5,90 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	46,00	0,00	46,00	0,00	40,00	0,00	0,00
0,03	76,00	0,04	76,00	0,04	70,00	0,04	0,003
0,03	106,00	0,02	106,00	0,00	100,00	0,02	0,01
0,01	136,00	0,02	136,00	0,03	130,00	0,02	0,01
0,003	166,00	0,003	166,00	0,01	160,00	0,00	0,002
0,03	196,00	0,10	196,00	0,03	190,00	0,05	0,04
0,01	226,00	0,05	226,00	0,06	220,00	0,04	0,02
0,00	256,00	0,05	256,00	0,06	250,00	0,04	0,03
0,01	286,00	0,05	286,00	0,05	280,00	0,04	0,02
0,13	316,00	0,06	316,00	0,05	310,00	0,08	0,05
0,07	346,00	0,05	346,00	0,07	340,00	0,06	0,01
0,06	376,00	0,07	376,00	0,05	370,00	0,06	0,01
0,05	406,00	0,08	406,00	0,05	400,00	0,06	0,02
0,03	436,00	0,06	436,00	0,05	430,00	0,05	0,02
0,01	466,00	0,03	466,00	0,04	460,00	0,02	0,01
0,003	496,00	0,02	496,00	0,02	490,00	0,01	0,01
0,06	526,00	0,01	526,00	0,01	520,00	0,03	0,03
0,00	556,00	0,01	556,00	0,01	550,00	0,004	0,004
0,00	586,00	0,003	586,00	0,08	580,00	0,03	0,05
0,003	616,00	0,07	616,00	0,003	610,00	0,03	0,04
0,00	646,00	0,00	646,00	0,00	640,00	0,00	0,00
0,00	676,00	0,00	676,00	0,003	670,00	0,002	0,002
0,00	706,00	0,00	706,00	0,00	700,00	0,00	0,00

Quadro C.8- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 5,90 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.

9,92 mm/h							
Caudal 1ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 2ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal 3ª chuvada (ml/s)	Tempo (s)	Caudal médio (ml/s)	Desvio padrão
0,00	45,00	0,00	44,00	0,00	64,00	0,00	0,00
0,05	75,00	0,04	74,00	0,03	94,00	0,04	0,01
0,07	105,00	0,10	104,00	0,12	124,00	0,10	0,03
0,09	135,00	0,13	134,00	0,15	154,00	0,12	0,03
0,11	165,00	0,13	164,00	0,14	184,00	0,13	0,01
0,16	195,00	0,14	194,00	0,14	214,00	0,14	0,01
0,15	225,00	0,15	224,00	0,12	244,00	0,14	0,02
0,13	255,00	0,17	254,00	0,14	274,00	0,15	0,02
0,14	285,00	0,15	284,00	0,15	304,00	0,15	0,01
0,15	315,00	0,16	314,00	0,14	334,00	0,15	0,01
0,14	345,00	0,16	344,00	0,15	364,00	0,15	0,01
0,15	375,00	0,16	374,00	0,13	394,00	0,14	0,02
0,15	405,00	0,16	404,00	0,14	424,00	0,15	0,01
0,13	435,00	0,14	434,00	0,09	454,00	0,12	0,03
0,05	465,00	0,07	464,00	0,04	484,00	0,05	0,01
0,03	495,00	0,07	494,00	0,17	514,00	0,09	0,07
0,09	525,00	0,08	524,00	0,06	544,00	0,07	0,01
0,06	555,00	0,10	554,00	0,13	574,00	0,10	0,03
0,12	585,00	0,03	584,00	0,09	604,00	0,08	0,05
0,07	615,00	0,04	614,00	0,10	634,00	0,07	0,03
0,06	645,00	0,15	644,00	0,06	664,00	0,09	0,05
0,04	675,00	0,05	674,00	0,03	694,00	0,04	0,01
0,02	705,00	0,02	704,00	0,02	724,00	0,02	0,00
0,02	735,00	0,01	734,00	0,00	754,00	0,01	0,01
0,00	765,00	0,00	764,00	0,00	784,00	0,00	0,00

Quadro C.9- Dados dos hidrogramas para as três chuvadas para a intensidade de 9,92 mm/h e respetivo caudal médio e desvio padrão.