

A AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA

RODRIGO BOEING ALTHOF

EDITORA KREATIK



Rodrigo Boeing Althof

A AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA

EDITORA KREATIK

ITAJUBÁ – BRASIL

2021

© 2021 – KREATIK

editora.kreatik.com.br

✉ publicacao@kreatik.com.br

Editoração, Arte e Capa: Editora Kreatik

Editor(a) Chefe: Thaise Ribeiro Luz

Revisão: Respectivo autor

Conselho Editorial

Prof. Me. Ernany Daniel de Carvalho Gonçalves

Prof. Me. João Paulo Chaves Barbosa

Prof. Dr. Vinicius de Carvalho Paes

A945

A avaliação do coeficiente de escoamento superficial em diferentes tipos de cobertura / Rodrigo Boeing Althof. Itajubá, MG: Editora Kreatik, 2021.

58p. : il.

Formato: PDF

Requisito de Sistema: Adobe Acrobat Reader

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-993959-1-8

1. Água de chuva. 2. Cobertura. 3. Reservatório. 4. Coeficiente de escoamento superficial. 5. Dimensionamento I. Althof, Rodrigo Boeing.

CDD: 620

O conteúdo científico presente nesta publicação é de **responsabilidade** exclusiva do seu respectivo **autor**.

SUMÁRIO

RESUMO	4
INTRODUÇÃO	5
REFERENCIAL TEÓRICO	9
CICLO HIDROLÓGICO	10
CHUVA	13
Medidores de chuva	14
SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	15
Captação	17
Coeficiente de escoamento superficial – <i>Runoff</i>	17
Telhado verde	19
Armazenamento	20
LEGISLAÇÃO	21
ESTUDOS SOBRE O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	24
METODOLOGIA	28
CONSTRUÇÃO DAS COBERTURAS MODELO	28
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL MÉDIO	35
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS DIFERENTES COBERTURAS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ALTURAS DE PRECIPITAÇÃO E DA CONDIÇÃO PRECEDENTE DA COBERTURA	37
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA ÁREA EFETIVA E DA ÁREA DE PROJEÇÃO DO TELHADO	41
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO TELHADO VERDE	42
CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICES	54
SOBRE O AUTOR	58

O aproveitamento de água de chuva constitui uma importante ação de manejo de águas em construções sustentáveis. Para tanto, é necessário dimensionar o sistema de captação e armazenamento de água de chuva, destacando-se a importância do dimensionamento do reservatório de armazenamento devido à questão da eficiência de atendimento e do custo. Neste dimensionamento intervêm a altura de precipitação, a área de coleta da cobertura, a demanda e o coeficiente de escoamento superficial nas coberturas tendo em vista a eficiência de atendimento do sistema. Visando contribuir com o dimensionamento deste sistema, este trabalho objetivou estudar o coeficiente de escoamento superficial em diversas coberturas, permitindo assim cálculos mais precisos no dimensionamento dos reservatórios de armazenamento. Coberturas modelo foram montadas no Campus II da FURB em Blumenau, simulando telhados com diferentes tipos de coberturas, sendo elas, telha metálica, de fibrocimento, de tetra-pak, de vidro, telhas cerâmicas (romana e germânica), de cimento e um telhado verde. Foram observados 43 eventos de precipitação durante os quais se registrou as alturas da precipitação e o volume escoado em cada uma das dez coberturas. A altura de precipitação foi determinada por um pluviógrafo instalado junto às coberturas modelo. A água de chuva coletada pelas coberturas foi armazenada em bombonas plásticas. Analisaram-se os valores médios do coeficiente de escoamento superficial e seu desvio padrão para cada cobertura, considerando-se inicialmente todos os eventos observados. Posteriormente, observaram-se os resultados de acordo com a condição prévia das coberturas, se seca ou úmida, e por fim, analisaram-se os resultados considerando as áreas de captação real e a projetada. No caso do telhado verde, foram analisados o coeficiente de escoamento superficial e o volume drenado. A telha metálica, tetra-pak e vidro apresentaram os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial, sendo mais indicadas para um sistema de aproveitamento de água de chuva. As telhas cerâmicas apresentaram os menores valores, com maiores perdas por interceptação. O escoamento superficial no telhado verde é desprezível, sendo que para um sistema de aproveitamento de água de chuva, deve-se considerar o volume drenado. Um aumento na intensidade de precipitação reduz as diferenças do coeficiente de escoamento superficial entre os diferentes tipos de telhados.

Palavras-chave: Coeficiente de escoamento superficial, cobertura, água de chuva, dimensionamento, reservatório.

A água é um recurso estratégico a toda sociedade, pois permite o desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais, além de ser indispensável ao meio urbano, como para a geração de energia, para os transportes, recreação, vital para a saúde, além de ser essencial aos seres humanos.

Porém, ela é um recurso finito com usos múltiplos, o que faz surgir os conflitos pelo seu uso. Com distribuição não regular no planeta, observa-se escassez em muitas regiões e países.

Segundo Tundisi e Tundisi (2011) é falsa a aparente concepção de que a água doce é abundante. Somente 3% da água do Planeta estão disponíveis como água doce. Desses 3%, cerca de 75% estão congelados nas calotas polares e cerca de 10% estão reservados nos aquíferos. Portanto, somente 15% dos 3% de água doce do Planeta estão disponíveis, e o suprimento global de água tem-se reduzido com o aumento da população e dos usos múltiplos, e com a perda dos mecanismos de retenção de água (remoção de áreas alagadas, desmatamento, perda de volume por sedimentação de lagos e represas).

No Brasil, a grande disponibilidade hídrica na maior parte do país, levou à ideia da inesgotabilidade da água. Embora, o Brasil possua cerca de 12% de toda a água doce disponível no planeta, algumas regiões brasileiras são afetadas por problemas relacionados com os recursos hídricos, sendo que a sua disponibilidade de água diverge bastante da distribuição populacional, e além disso, o crescente aumento do consumo, o desperdício e a poluição das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos tóxicos provenientes da indústria e da agricultura, acabam por comprometer a qualidade e a quantidade de água disponível (VIANNA, 2005).

As projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) indicam que em 2050 mais de 45% da população mundial viverá em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa.

As principais fontes de consumo de água são as atividades agrícolas, mais dispendiosas, seguidas pelas atividades industriais e pelas atividades urbanas. Até chegar às torneiras, a água passa pelos sistemas de captação, que compreende a retirada da água dos mananciais superficiais (rios, lagos ou represas), e profundos (poços), para depois ser enviada às estações de tratamento de água com sua consequente distribuição (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

De acordo com a declaração universal dos direitos da água (ONU, 1992), os recursos naturais de transformação de água em água dentro dos padrões de potabilidade são lentos, frágeis e limitados, e muitos dos mananciais utilizados estão cada vez mais poluídos e deteriorados, seja por falta de controle ou de investimentos em coleta, tratamento, ou disposição final de esgotos e resíduos sólidos.

Os meios de tratamentos convencionais tornam-se cada vez mais onerosos, devido à demanda e à espacialização das redes, necessárias ao atendimento de diversos aglomerados urbanos, restringindo o consumo, priorizando-se o abastecimento para o consumo humano e a dessedentação de animais (ONU, 1992).

Dependendo do uso que se pretende dar à água, suas características podem variar, sendo fixados os padrões mínimos relativos à sua aplicação, e nesta premissa, o uso racional dos recursos hídricos elimina desperdícios e o reaproveitamento das águas servidas e o aproveitamento das águas de chuva gera economia de recursos, pois reduz o volume e a demanda de água tratada (COSTA; TELLES, 2011).

A chuva é uma fonte de água de fácil acesso e é um desperdício deixá-la ir para a rede de drenagem. Aproveitar essa água é uma das medidas contra o racionamento, e que vem crescendo e dando ênfase a conservação de água. Pode-se dizer, então, que a captação da água de chuva vai ao encontro das políticas de segurança hídrica.

O aproveitamento da água de chuva, para fins não potáveis, além de proporcionar economia de água potável, contribui para a prevenção de alagamentos em locais onde a urbanização tornou boa parte do solo impermeável, impedindo a infiltração da água e acelerando o escoamento superficial, agravando o processo das inundações urbanas.

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), lançou em 2007 a NBR 15.527 – Água de Chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Ela dispõe sobre o dimensionamento de reservatórios através de vários métodos, para armazenamento de água da chuva, captada em meio urbano por meio de coberturas.

Muitos municípios vêm editando leis que tratam da captação, armazenamento e utilização da água de chuva. A obrigatoriedade para instalação de um sistema de aproveitamento desse recurso hídrico está, muitas vezes, condicionada aos casos de grandes áreas construídas, que representam a menor fatia do total das edificações, sendo executada ainda de forma tímida e muito limitada aos contextos cultural, social, geográfico e econômico, dependendo muito da aceitação popular, da aprovação do mercado e da vontade política para se efetivar como tecnologia sistemática.

É inegável que hoje, ocorre um problema causado pela escassez de água doce, devido principalmente à distribuição desigual de água, em relação à concentração populacional, quadro este agravado pela má gestão que sempre foi pontual e setorial. A deterioração das áreas de reabastecimento dos mananciais, o desmatamento, a irrigação sem planejamento, o crescimento da demanda, o desperdício e a poluição, e a não adoção das medidas necessárias para o gerenciamento das bacias hidrográficas brasileiras, têm contribuído para a gradual redução da quantidade e, principalmente, da qualidade da água, mesmo com os avanços ocorridos pela instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos estabelecido pela Lei 9.433 (BRASIL, 1997).

Segundo Tomaz (2001), no Brasil 68,5% dos recursos hídricos estão na região norte, enquanto no nordeste tem-se 3,3%, sudeste 6,0%, centro-oeste 15,7% e sul 6,5%. Observando-se os dados publicados pelo Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), percebe-se a má distribuição de recursos hídricos no espaço em relação à concentração populacional no Brasil, sendo que a região norte abriga 8,31% da população, a região nordeste 27,83%, o sudeste 42,13%, o centro-oeste 7,37% e a região sul 14,36%.

O consumo de água no mundo é em média, 70% destinado para atividades agrícolas, 22% para a indústria, e 8% para atividades urbanas, variando conforme as características e o grau de desenvolvimento dos países (MACÊDO, 2004). Mesmo em países com grande quantidade de água, como é o caso do Brasil, onde a vazão média de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) é de aproximadamente 33.000 m³/hab./ano, volume 19,4 vezes maior do que o piso de 1.700 m³/hab./ano, estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2003), algumas regiões podem ter problemas quanto à disponibilidade hídrica.

De acordo com Mancuso e Santos (2003) devido à limitação dos recursos hídricos e à necessidade humana, já o homem primitivo não fixava moradia, mudando-se constantemente em busca de locais que lhe possibilitassem acesso aos recursos naturais necessários a sua subsistência, dentre eles à água. Devido ao grande crescimento populacional, tal tarefa se torna difícil, surgindo então os sistemas de abastecimento de água, que envolvem a captação, o tratamento, o armazenamento e distribuição de água potável por redes, até o consumidor final. Os procedimentos necessários a disponibilização de água em condições de consumo se torna cada vez mais onerosos, devido a uma série de fatores, dentre eles a expansão urbana, a demanda e a poluição. Neste contexto, surge como uma boa alternativa para o uso racional da água, o aproveitamento da água de chuva.

Como alternativa para reduzir o consumo de água potável em usos não nobres, e conseqüentemente, proporcionar uma redução da demanda por água tratada, reduzindo a captação nos mananciais e os custos oriundos dos sistemas de abastecimento, é que se vislumbra a possibilidade de aproveitamento de água de chuva. Entretanto, para tanto, é necessário dimensionar o sistema de captação e aproveitamento, destacando-se o dimensionamento do reservatório de armazenamento, devido à questão de segurança na eficiência de atendimento e ao seu custo. A altura pluviométrica local, a área de coleta da cobertura, a demanda e a eficiência, são variáveis que devem ser consideradas no seu dimensionamento. Trata-se, portanto, de um balanço de massa que envolve ainda, o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*), o volume do reservatório de descarte do *first flush* (água de lavagem do telhado) e as perdas devido ao gradeamento do sistema de proteção de material grosseiro.

Um dos principais desafios aos gestores públicos no Brasil e no mundo é garantir os serviços de infraestrutura necessários ao desenvolvimento urbano, de forma a minimizar os impactos ambientais e oportunizar qualidade de vida a esta, e às futuras gerações.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no Brasil, o percentual de pessoas vivendo em áreas urbanas passou de 36,16%, em 1950 para 84,35%, em 2010. Este aumento da concentração populacional acarreta muitos problemas de abastecimento de água, merecendo a atenção e preocupação das populações e autoridades. Fica evidente a importância de uma gestão integrada dos recursos hídricos, que incentive o seu uso racional e favoreça o desenvolvimento de sistemas sustentáveis, como forma de prevenção contra a escassez.

O sistema de aproveitamento de água de chuva se apresenta como alternativa plausível para satisfazer as demandas de qualidade menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. As águas de qualidade inferior como os efluentes, água de chuva, água de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas, para os usos menos restritivos (HESPANHOL, 2002).

Para se garantir o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, é necessário o desenvolvimento de sistemas alternativos, aplicados em função das características locais, de ordem econômica, social e tecnológica.

Os investimentos em novas estações de tratamento de água e de esgotos implicam em maior consumo de energia e de insumos, que geram resíduos no processo de produção, e conseqüentemente, poluição. Neste sentido, o aproveitamento de água de chuva surge como uma alternativa eficaz, principalmente quando se trata de uso para fins não potáveis, como por exemplo, descarga de bacias sanitárias, rega de jardins, lavagem de calçadas etc., desde que em quantidades e qualidades suficientes para suprir as necessidades dos usuários, viabilizando a implantação do sistema e contribuindo para controlar a vazão nos escoamentos superficiais das cidades, demandando novos estudos e incentivos para sua aplicação em grandes escalas, atendendo o que preconiza o conceito de sustentabilidade ambiental.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi de avaliar os valores do coeficiente de escoamento superficial, em edificações com diferentes tipos de cobertura, visando auxiliar o dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de água da chuva.

Após este capítulo introdutório, segue o Capítulo 2, que apresenta o referencial teórico, abordando o ciclo hidrológico, a precipitação, os sistemas de aproveitamento e captação de água de chuva, o armazenamento, as perdas, fechando-se o capítulo com o telhado verde e a infiltração que ocorre neste. O Capítulo 3 descreve a metodologia de pesquisa, os tipos de cobertura modelo, os equipamentos utilizados, e os cuidados na coleta das leituras dos dados. No Capítulo 4 são apresentados os resultados dos valores de coeficiente de escoamento superficial para cada tipo de cobertura modelo, fazendo-se algumas considerações quanto às condições iniciais das coberturas, sobre os níveis de precipitação e sua inclinação, bem como a análise do coeficiente de escoamento superficial e de infiltração do telhado verde.

De acordo com a ONU (2011) cada pessoa necessita de 3,3 m³/mês (cerca de 110 litros de água por dia) para atender às necessidades de consumo e higiene. No entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia (SABESP, 2011).

Do consumo total de água doce, boa parte é direcionada as indústrias, pois os processos industriais requerem água para várias finalidades, como resfriamento e condensação, uso na fabricação de produtos em indústrias têxteis, frigoríficos, alimentícias, metais-mecânica, petroquímicas etc.

A cobrança pelo uso da água na indústria introduz outro componente importante do ponto de vista econômico, o custo pelo consumo da água. O princípio do poluidor/pagador desencadeará um conjunto de sistemas inovadores de tratamento e deverá incentivar o reúso da água para atividades industriais, produzindo economias acentuadas relacionadas ao uso dos recursos hídricos (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

A classificação dos consumidores por categorias de consumo (doméstico, comercial, industrial e público), é uma prática comum nas prestadoras dos serviços de abastecimento de água, uma vez que essas categorias são facilmente identificáveis. Isto permite o estabelecimento de políticas tarifárias e de cobranças diferenciadas (TSUTIYA, 2004).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), no ano de 2010 o resultado da estimativa das demandas por tipo de uso consuntivo, ou seja, cuja parte da água captada é consumida no processo produtivo, não retornando ao curso de água de recursos hídricos, apresentou a irrigação como a maior vazão de retirada com 1.270 m³/s, o que corresponde a 54% do total da vazão retirada de 2373 m³/s. Com relação à vazão efetivamente consumida, 1212 m³/s, a irrigação corresponde a 72% do total (TABELA 1).

Tabela 1 - Demanda de recursos hídricos por setores no Brasil em 2010

Tipos de Uso	Demanda em relação à vazão retirada total (%)	Demanda em relação à vazão consumida total (%)
Urbano	22	09
Rural	01	01
Animal	06	11
Irrigação	54	72
Industrial	17	07

Fonte - ANA - Agência Nacional de Águas (2012)

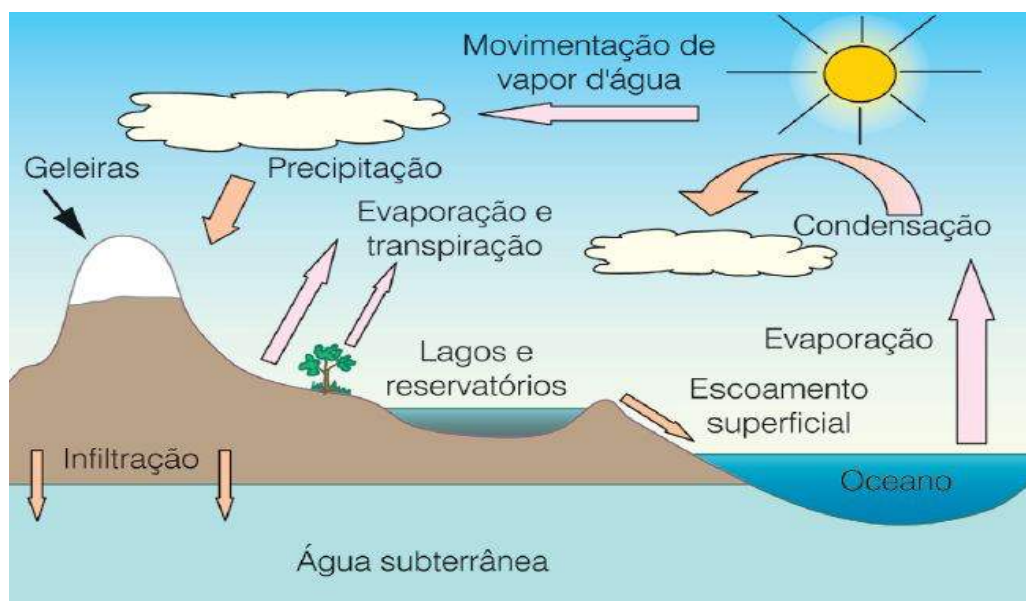
A água para consumo humano deve ser priorizada, pois ela é essencial em todas as atividades metabólicas do ser humano, no preparo de alimentos, na higiene pessoal e na limpeza de roupas e utensílios domésticos, por exemplo. Em média, para as atividades metabólicas, cada indivíduo necessita 2,5 litros de água por dia para satisfazer as suas necessidades vitais (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Segundo Tundisi e Tundisi (2011) o aumento da retirada de água dos mananciais tem significado para muitos países perdas substanciais e desequilíbrios no ciclo hidrológico. Quando as retiradas de água para irrigação, abastecimento público ou uso industrial excedem a quantidade de água repostada pela precipitação e a recarga, há um desequilíbrio, que causa escassez.

CICLO HIDROLÓGICO

O conceito de ciclo hidrológico está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados, físico, líquido, sólido ou gasoso, que ocorre na hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltrar nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Ciclo hidrológico simplificado



Fonte: Adaptado de Tundisi (2003a)

Para Tucci (2000) a inadequada ocupação do espaço produz alterações no ciclo hidrológico, que gera frequentes enchentes urbanas, e problemas na coleta e disposição do resíduo urbano,

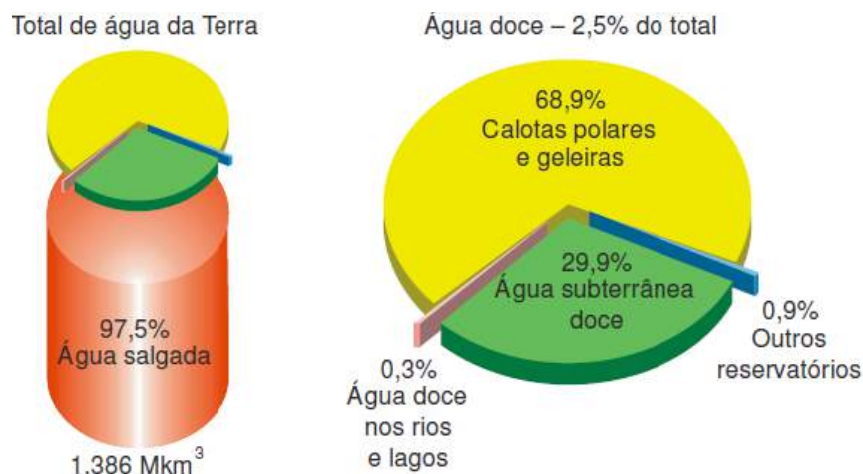
que resultam em contaminação dos aquíferos e águas superficiais.

Segundo Tundisi (2003a) nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se. A água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação direta para a atmosfera assim como é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo, chamado evapotranspiração, ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água. A água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada (onde os poros ou fraturas das formações rochosas estão completamente preenchidos por água), entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos). No entanto, a água subterrânea pode ressurgir à superfície (nascentes) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada diretamente no oceano.

A velocidade do ciclo hidrológico varia de uma era geológica para outra, assim como as proporções da soma total de águas doces e de águas marinhas. Em períodos de glaciação, era menor a proporção de água doce líquida, enquanto em períodos mais quentes a forma líquida era mais comum. A quantidade de água e a velocidade com que ela circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia, sendo a instabilidade e a mobilidade características importantes a qualquer volume de água superficial ou subterrânea (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

De acordo com Shiklomanov (1998), 97,5% do volume total de água do planeta formam os mares e oceanos, e somente 2,5% é de água doce, sendo que desse percentual, 68,9% estão localizados em calotas polares e geleiras, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% em outros reservatórios e apenas 0,3% em rios e lagos. Mesmo representando aproximadamente 1% do total da água do planeta, os rios e lagos representam aproximadamente 105.087 quilômetros cúbicos, e são as fontes da maior parte de água que as pessoas usam diariamente (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição das águas na Terra



Fonte: Shiklomanov (1998)

Dos menos de 3% de água doce existente, a maior parte está sob forma de gelo, seguida de água subterrânea, rios e lagos e outros reservatórios, conforme indicado na Tabela 2, sendo que grande quantidade em volume de água doce encontra-se inacessível e com elevado custo para sua captação, tornando mais oportuno a captação da água de superfície.

Tabela 2 – Áreas e volumes totais relativos dos principais reservatórios de água da Terra

Reservatório	Área (10³ km²)	Volume (10³ km³)	Volume total (%)	Volume de água doce (%)
Oceanos	361.300	1.338.000	96,50	---
Água subterrânea	134.800	23.400	1,70	---
Água doce	---	10.530	0,76	30,10
Umidade do Solo	---	17	0,001	0,05
Calotas polares	16.227	24.064	1,74	68,70
Antártica	13.980	21.600	1,56	61,70
Groelândia	1.802	2.340	0,17	6,68
Ártico	226	83,50	0,006	0,24
Geleiras	224	40,60	0,003	0,12
Solos gelados	21.000	300,00	0,022	0,86
Lagos	2.059	176,40	0,013	---
Água doce	1.236	91,00	0,007	0,26
Água salgada	822	85,40	0,006	---
Pântanos	2.683	11,47	0,0008	0,03
Fluxo dos rios	148.800	2,12	0,0002	0,006
Água na biomassa	510.000	1,12	0,0001	0,003
Água da atmosfera	510.000	12,90	0,001	0,04
Totais	510.000	1.385.984	100	---
Total de reserva de água doce	148.800	35.029	2,53	100,00

Fonte - Shiklomanov (1998)

A crescente urbanização, realidade em grande parte do mundo, gerou uma mudança no ciclo hidrológico das áreas urbanas (ZAIKEN et al., 1999). O aumento das áreas impermeáveis provocou uma redução da função de infiltração e armazenamento de água de chuva nas camadas subterrâneas da Terra. Com isso, a realidade desses centros é a diminuição da recarga dos aquíferos e o aumento do escoamento superficial das chuvas, provocando enchentes e trazendo sérios problemas à população.

Dentre as diversas formas nas quais a água se apresenta durante o ciclo hidrológico, esse

trabalho concentrou-se na fase líquida proveniente da água de chuva. A utilização da água da chuva além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, contribui para minimizar os efeitos de alagamentos em áreas pouco permeáveis, sendo extremamente necessário para garantir o desenvolvimento sustentável.

CHUVA

De acordo com Vesilind e Morgan (2011), a chuva é uma das formas de precipitação, termo aplicado para todas as formas de umidade originais na atmosfera que caem sobre o solo, além, por exemplo, do granizo e neve, entre outras. A chuva é registrada com medidores em milímetros, sendo que sua determinação é geralmente útil para estimativas de disponibilidade de água.

Tucci (1993) apresenta as grandezas que caracterizam uma chuva.

- Altura pluviométrica (P ou r): é a espessura média da lâmina de água de chuva que recobriria a região, admitindo-se que essa água não infiltrasse, evaporasse e escoasse fora dos limites da região. Sua unidade é expressa comumente em milímetros de chuva, ou 1 litro por m² de superfície;
- Duração (t): período de tempo que dura a chuva em questão;
- Intensidade (i): é a relação entre a altura pluviométrica e a duração, $i=P/t$, expressa por mm/h ou litros/segundo;
- Frequência de probabilidade e tempo de recorrência (Tr): é interpretado como o número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

Existem três causas primárias de formação da chuva e todas elas têm a ver com a ascensão de massa de ar quente e úmida na atmosfera (FELLOWS, 1975).

As chuvas podem ser classificadas como convectivas, frontais ou ciclônicas e orográficas. As chuvas convectivas são mais frequentes em regiões equatoriais. São formadas a partir do aquecimento do ar úmido próximo ao solo. São chuvas de fortes intensidades, pequena duração e que atingem pequenas áreas. As chuvas frontais ou ciclônicas são provenientes do encontro de extensas massas de ar frias e quentes. As frentes de ar frio que vêm dos pólos da Terra, ao interagirem com as frentes de ar quente, elevam estas bruscamente. Esse processo provoca a condensação do vapor d'água presente em grande quantidade e ocasiona chuvas. São chuvas de intensidade média, porém que abrangem grandes áreas e por um longo período de tempo. Já as chuvas orográficas são as que têm sua formação muito ligada às características geográficas. As massas de ar que seguem do oceano para o continente trazem junto a umidade proveniente do mar. Ao chegarem à superfície e encontrarem relevos montanhosos, essas massas de ar quente e úmido se elevam como se fosse para superar a barreira geográfica. Sendo assim, elas se

resfriam e se condensam formando nuvens e chuvas. São chuvas com intensidades menores que as das chuvas convectivas, de grande duração e áreas pequenas (SILVA DIAS; SCHUBERT; DE MARIA, 1993).

Para calcular a quantidade de água que se pode coletar e dimensionar corretamente o sistema de aproveitamento de água da chuva é necessário primeiramente, conhecer o regime pluviométrico na região desejada, determinando-se a quantidade de chuva precipitada. Em seguida, é necessário se determinar a quantidade de água de chuva perdida nos diferentes pontos do sistema bem como a quantidade de água consumida.

Em geral, as águas das chuvas só devem ser usadas para fins não-potáveis, principalmente em regiões industriais, onde pode ser grande a poluição atmosférica. Cabe salientar que mesmo para fins não potáveis, como usos em indústrias (caldeiras, refrigeração, indústria de papel e outros), é necessário se providenciar um tratamento mínimo para ajustar os índices de poluentes e da sua dureza.

Medidores de chuva

Dois aparelhos são comumente empregados nas medições das chuvas, o pluviômetro e o pluviógrafo. A diferença entre ambos é que o pluviógrafo registra automaticamente os dados, ao contrário do pluviômetro que precisa de leituras manuais a intervalos de tempo fixos. O pluviômetro (Figura 3) é mais utilizado devido à simplicidade de suas instalações e operação. No pluviômetro é lida a altura total de água precipitada, ou seja, a lâmina acumulada durante a precipitação, sendo que seus registros são sempre fornecidos em milímetros por dia ou em milímetros por chuva, com anotação da mesma dependendo de um operador.

Figura 3 – Pluviômetro



Fonte: Pértile, Almada e Vieira (2009)

O pluviógrafo (Figura 4) é mais encontrado nas estações meteorológicas propriamente ditas e registra a intensidade de precipitação, ou seja, a variação da altura de chuva com o tempo.

A sua operação é mais complicada e dispendiosa e o próprio custo de aquisição do aparelho, torna seu uso restrito, embora seus resultados sejam bem mais importantes hidrológicamente.

Figura 4 – Pluviógrafo



Fonte: Pértile, Almada e Vieira (2009)

A chuva também pode ser estimada utilizando radares meteorológicos. A medição de chuva por radar está baseada na emissão de pulsos de radiação eletromagnética que são refletidos pelas partículas de chuva na atmosfera, e na medição da intensidade do sinal refletido. A relação entre a intensidade do sinal enviado e recebido, denominada refletividade, é correlacionada à intensidade da chuva. A principal vantagem do radar é a possibilidade de fazer estimativas de taxas de precipitação em uma grande região no entorno da antena emissora e receptora, embora existam erros consideráveis quando as estimativas são comparadas com dados de pluviógrafos. Quando não existe informação hidrológica em local que se deseja fazer um estudo ou um projeto, faz-se a transferência ou a regionalização de informação, que consiste em estimar dados por meio de correlação, desde que os locais estejam localizados em bacias homogêneas, com características físicas e hidrológicas semelhantes.

SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A água de chuva pode ser captada para fins de aproveitamento através de represas, de pisos pavimentados e através de coberturas. (GOULD; NISSEN-PETERSEN, 1999). Segundo a NBR 15.527 (ABNT, 2007) a concepção do projeto do sistema de coleta de água de chuva deve atender a NBR 5626 (ABNT, 1998) e a NBR 10844 (ABNT, 1989).

A captação por coberturas indicado pela Figura 5 é o mais utilizado, principalmente por estar livre de diversos poluentes, que podem ser encontrados no solo como, por exemplo, pesticidas, e por aproveitar os telhados existentes das edificações.

Os elementos que constituem os sistemas para captação de água de chuva são entendidos como área de captação ou área de contribuição (telhado), componentes de transporte (calhas e

condutores verticais e horizontais), e o reservatório de armazenamento (Figura 5).

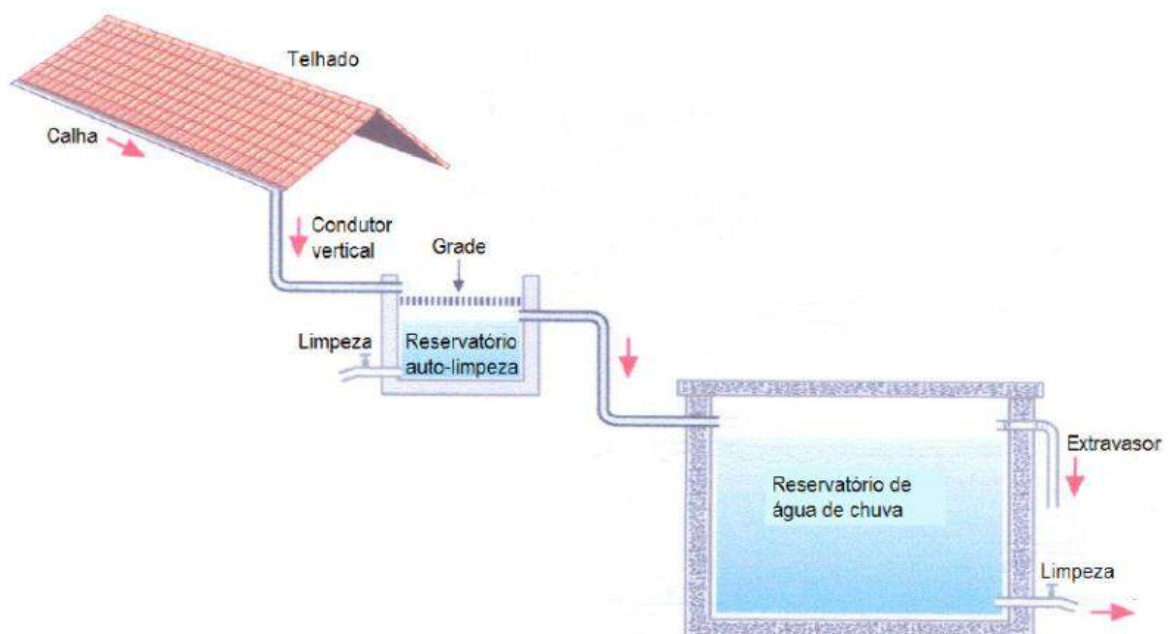
Alguns sistemas contêm filtros autolimpantes para a retirada de sujeiras como, por exemplo, as folhas e outros materiais que podem entrar nos reservatórios e fornecer alimento e nutrientes para os micro-organismos sobreviverem.

Outro dispositivo comumente instalado é o reservatório de descarte de água da primeira chuva (by-pass), que visa armazenar a água da lavagem da cobertura. De acordo com May (2004) ao iniciar a chuva o reservatório de descarte (autolimpeza), que está vazio, recebe e armazena esta precipitação inicial, até que o nível de água atinja a posição-limite, momento em que há o fechamento automático da bóia. A partir de então, toda a água de chuva escoar para o reservatório de armazenamento. O reservatório de descarte deve ser esvaziado, de modo a permitir nova condição de operação para o próximo evento de chuva.

O correto dimensionamento dos componentes de transporte da água de chuva, calhas, condutores verticais e horizontais, permite reduzir riscos na perda de água por extravasamento, e melhoram a eficiência do sistema. Desta forma, capta-se toda a água do telhado sem transbordamento e pode-se conduzi-la eficientemente para o reservatório. Pode-se utilizar como referência para o dimensionamento desses componentes a NBR 10.844 (ABNT, 1989) de instalações prediais de águas pluviais.

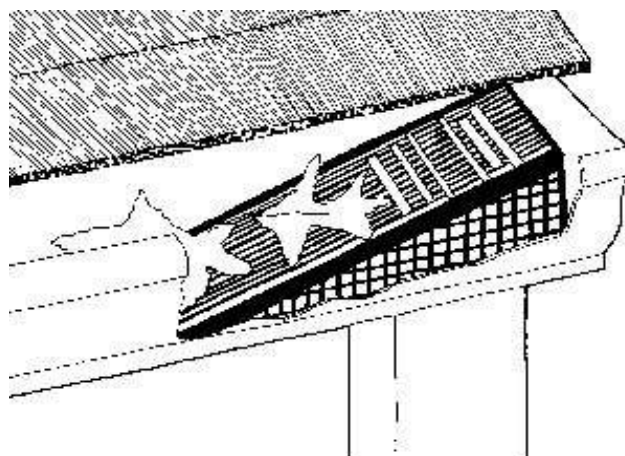
Outra maneira de aumentar a eficiência é a manutenção periódica, com limpeza das calhas e dos reservatórios, além da instalação de grades entre as calhas e os condutores (Figura 6). Essa manutenção pode reduzir os riscos de contaminação, além de evitar entupimentos, aumentando a qualidade da água captada (CAMPOS, 2004).

Figura 5 - Esquema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: Tomaz (1998)

Figura 6 - Sistema de grade para remoção de folhas e material grosseiro



Fonte: Waterfall (2004)

Captação

A área de captação é aquela onde ocorre toda a coleta da água de chuva e trata-se de um ponto crítico para o dimensionamento correto do sistema, pois, a partir dela é que será determinada a água possível de ser captada e aproveitada (CAMPOS, 2004).

Coefficiente de escoamento superficial - *Runoff*

De acordo com Tomaz (2003) para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Para isto, usa-se o coeficiente de escoamento superficial, chamado de coeficiente de *runoff*.

Para Vaes e Berlamont (1999) a área de coleta é muito importante para o sistema de aproveitamento de água de chuva, porém, o coeficiente de escoamento superficial da água de chuva é influenciado por muitos parâmetros locais, que são difíceis de avaliar. Conseqüentemente, um coeficiente de correção na área de contribuição pode ser atribuído, em função da projeção e da inclinação do telhado.

Segundo Guanghui (2001) um parâmetro local que apresenta grande influência no coeficiente de *runoff* é o tipo de telhado onde a água será coletada. Se a superfície é impermeável o *runoff* acontece imediatamente, se a superfície for permeável, então o *runoff* acontecerá após a saturação da superfície.

Conforme Tomaz (2007) para cada tipo de material utilizado no sistema de captação há uma faixa de valores numéricos de *runoff* correspondentes. A Tabela 3 mostra os valores encontrados para *runoff* de acordo com o material empregado e as respectivas fontes, porém, muitos destes valores são estimados. No Brasil, vários autores adotam o valor do coeficiente de *runoff* de 0,80.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e alguns métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios. Podem-se utilizar estas águas, após tratamento adequado,

em descarga de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelho de água e usos industriais.

Tabela 3 - Valores determinados^D e adotados^A do coeficiente de escoamento superficial (runoff)

Material	Coeficiente de escoamento superficial
Telha cerâmica ^A	0,80 - 0,90 ¹
Telhas esmaltadas ^A	0,90 - 0,95 ¹
Telhas corrugadas de metal ^A	0,80 - 0,90 ¹
Cimento amianto ^A	0,80 - 0,90 ¹
Plástico - PVC ^A	0,90 - 0,95 ¹
Telha cerâmica ^A	0,80 ²
Concreto ^D	0,90 ³
Metal ^D	0,95 ³
Telha cerâmica ^D	0,75 - 0,90 ⁴
Telha cerâmica ^D	0,80 - 0,90 ⁵
Telhas corrugadas de metal ^D	0,70 - 0,90 ⁵
Metal e fibra de vidro ^D	0,90 - 0,95 ⁶
Solo com vegetação ^D	0,20 - 0,75 ⁶
Gramado em solo barrento ^D	0,13 - 0,17 ⁶
Gramado em solo arenoso ^D	0,10 - 0,05 ⁶
Metal e fibra de vidro ^D	0,90 - 0,95 ⁷
Jardins e gramados dependendo da declividade ^D	0,00 - 0,25 ⁷
Telha cerâmica ^D	0,56 ⁸
Chapas corrugadas ^D	0,85 ⁸
Plástico ^D	0,94 ⁸
Metálica ^D	0,52 ⁸
Telhados verdes ^D	0,27 ⁸
Telha cerâmica ^D	0,80 - 0,90 ⁹
Cimento amianto ^D	0,70 - 0,85 ⁹
Metálica corrugadas ^D	0,80 - 0,95 ⁹
Pavimentos de concreto ^D	0,80 - 0,95 ⁹

Fonte : ¹Tomaz (2007), ²Ghisi et al. (2006), ³Lancaster (2006) apud Farreny et al. (2011),
⁴Vaes e Berlamont (1999), ⁵Frasier (1975), ⁶Waterfall (2004), ⁷Wilken (1978),
⁸Khan (2001), ⁹Friedrich (2002).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis e alguns métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios. Podem-se utilizar estas águas, após tratamento adequado, em descarga de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelho de água e usos industriais.

Telhado verde

Os telhados verdes, cada vez mais são encontrados em empreendimentos de pequeno, médio e grande porte, sendo uma tendência da arquitetura sustentável e da construção civil. A técnica consiste na aplicação e no uso do solo e da vegetação sobre uma camada impermeável, muitas vezes sobre telhados.

O substrato implantado reassume o que seria um solo, e seus benefícios são reproduzidos. Além da evapotranspiração, parte das águas escoam superficialmente e parte continua a infiltrar.

Os telhados ou coberturas verdes podem ser classificados em intensivas ou extensivas em função da espessura do solo necessária para que as plantas neles cultivadas se desenvolvam. As coberturas verdes intensivas são caracterizadas por camadas de solo maiores que 20 cm, sendo constituídas de plantas e arbustos de médio porte, que demandam para o seu desenvolvimento um ambiente mais complexo, exigindo uma estrutura reforçada e com as cargas bem distribuídas devido aos esforços extras promovidos pelas plantas, solo e água. Já as coberturas verdes extensivas, são caracterizadas por camadas de solo menores que 20 cm, compostas por espécies de pequeno porte, como as autóctones, que resistem mesmo com pouca ou nenhuma manutenção (CORREA; GONZALEZ, 2002).

Sendo na primeira ou na segunda situação, o processo de infiltração da água de chuva ocorrerá no solo. A infiltração é definida como a entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera. O termo taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante (LIBARDI, 1995).

Segundo Pott e De Maria (2003), vários fatores condicionam o movimento de água no solo, os quais têm sido relatados por diversos autores, a saber: a porosidade (PERROUX; WHITE, 1988; EVERTS; KANWAR, 1992), a densidade do solo (SALES et al., 1999), a cobertura do solo (ROTH; MEYER; FREDE, 1985; SIDIRAS; ROTH, 1987), a textura e o grau de agregação do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), o selamento superficial (REICHERT; VEIGA; CABEDA, 1992; CHAVES; ORLOWISK; ROLOFF, 1993), a umidade inicial (ARAÚJO FILHO; RIBEIRO, 1996), a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno (KLAR, 1984).

Ou seja, segundo Ottoni (2005) a infiltração está diretamente relacionada com a estrutura e composição química e granulométrica do solo. Em vista disso, em solos sob condições de intensa compactação, seja por transporte de máquinas, por pisoteio animal ou manejo que implique desagregação das partículas, a densidade do solo tende a aumentar, principalmente nos horizontes superficiais do solo acompanhados por um aumento de resistência à penetração, que varia também com a umidade no solo, conjuntamente com uma diminuição da porosidade. A magnitude da infiltração é severamente reduzida pela formação ou presença do selamento superficial, fenômeno motivado pela pequena porosidade desta camada e à dominância de poros de pequeno diâmetro. Segundo Reichert, Veiga e Cabeda (1992), a textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com impacto das gotas de chuva, o que contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo.

Além do impacto da gota, Morin e Van Winkel (1996) citam a dispersão físico-química das argilas do solo como causas da formação do selamento superficial e, conseqüentemente, da redução da taxa de infiltração. Dessa forma, o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo pode reduzir a capacidade de infiltração de água no solo e propiciar a formação de escoamento superficial.

Considerando que a umidade, a permeabilidade, a temperatura e a profundidade do extrato impermeável são fatores intervenientes no fenômeno da infiltração (VILLELA; MATOS, 1975), um solo seco tem maior capacidade de infiltração inicial devido ao fato de se somarem as forças gravitacionais e as de capilaridade.

No que diz respeito ao escoamento superficial, pode-se dizer que este inicia quando a intensidade de precipitação se torna maior do que a taxa de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido ultrapassada.

Armazenamento

O armazenamento da água de chuva coletada é realizado através de reservatórios, que podem ser de concreto armado, plástico, aço, fibrocimento ou em alvenaria de bloco armado. O seu dimensionamento leva em conta os volumes captados que são calculados considerando-se o regime de precipitação local e a área de captação, e as características de demanda específica de cada edificação, para uma eficiência de atendimento adotada.

Os reservatórios têm por finalidade acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizador das vazões naturais (LOPES; SANTOS, 2002).

Segundo May (2004) geralmente o reservatório de armazenamento é o componente mais dispendioso do sistema de coleta e aproveitamento de águas de chuvas, deve, portanto, ser dimensionado com bastante critério para tornar viável a implementação dos sistemas de aproveitamento de águas de chuva.

Geralmente, o dimensionamento do volume do reservatório de armazenamento é realizado na tentativa de atender a toda a demanda pelo maior período possível e com o menor custo de implantação.

A NBR 15.527 (ABNT, 2007) apresenta seis métodos de cálculo para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento. O Método de Rippl, ou diagrama de massas, obtém o volume de água de acordo com a área de captação e o histórico pluviométrico correlacionado à demanda, em um determinado tempo. Neste método, o volume de água captada pelo sistema de aproveitamento de água de chuva é subtraído da demanda de água não potável na edificação.

O Método da simulação não considera a evaporação da água, consistindo-se em fixar um volume para o reservatório, verificando-se o percentual de consumo que será atendido, e assim, realizar o cálculo até atingir a meta de atendimento.

No método de Azevedo Neto ou Método Prático Brasileiro, o volume da chuva é obtido pela relação entre a área da coleta em projeção, a precipitação e o valor da precipitação média anual.

O Método Prático Alemão toma o menor valor do volume do reservatório, 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

O Método Prático Inglês, segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) obtém o volume de água aproveitável considerando um coeficiente de 0,05 multiplicado pela precipitação média anual e a área da coleta em projeção.

No Método Prático Australiano é calculado primeiro o volume mensal produzido pela chuva. Ainda segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) o cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

Alguns cuidados especiais deverão ser tomados, tais como: evitar a entrada da luz do sol no reservatório, a fim de inibir o crescimento de algas; a tampa de inspeção deverá ser hermeticamente fechada; a saída do extravasor (ladrão) deverá conter grade para que não entrem pequenos animais.

No reservatório, por ser um local onde a água permanece parada por um determinado período de tempo, há deposição de materiais pesados que porventura tenham sido carreados pela água de chuva. Além disso, pelo mesmo motivo, pode haver o desenvolvimento de microorganismos, comprometendo a saúde dos usuários do sistema (TOMAZ, 2003). Pelo menos uma vez por ano deverá ser feita uma limpeza do reservatório, removendo-se a lama existente pela descarga de fundo.

Um reservatório não pode permanecer por um longo período ocioso, bem como não pode provocar o desperdício de água de chuva em detrimento ao atendimento da demanda necessária.

LEGISLAÇÃO

No final do século XX, novas iniciativas na legislação de recursos hídricos começaram a ser

implementadas em muitos países. Essas ações decorreram do reconhecimento de que, sem evolução na legislação e sem novas formas de administração e organização das instituições que planejam e gerenciam recursos hídricos, é impossível implantar os avanços da tecnologia e da participação da comunidade (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

A agenda 21 promoveu ampla alteração conceitual no processo de planejamento e gestão de recursos hídricos, propondo cinco pontos principais de gestão:

- provisão de água potável de qualidade adequada e saneamento básico para toda a população;
- desenvolvimento e gerenciamento integrado de recursos hídricos;
- água para produção de alimento sustentável e desenvolvimento rural;
- proteção dos recursos hídricos, dos ecossistemas aquáticos continentais e da qualidade da água;
- promoção de tecnologias e ações que integrem os setores público e privado no desenvolvimento e na inovação tecnológica.

No Brasil, em 1997 foi sancionada a lei 9.433 (BRASIL, 1997), que define a Política Nacional de Recursos Hídricos, e permite a cobrança pelo uso da água no estado bruto, sendo também criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, possibilitando instrumentos legais para a gestão da água no país. Outro importante avanço foi à criação da Agência Nacional de Águas (ANA), em 2000, que é vinculada ao Ministério do Meio Ambiente e dotada de autonomia administrativa e financeira. Como destaque da política operacional da ANA está a implementação e operação de comitês de bacias hidrográficas, além do uso de instrumentos técnicos como a regulação, outorga, fiscalização, convênios com estados e municípios descentralizando as ações, além do desenvolvimento de planos de recursos hídricos.

Com relação à esfera federal, ainda não está regulamentada nenhuma lei com relação ao aproveitamento de água de chuva nas áreas urbanas brasileiras. Entretanto, tramita no Senado Federal um projeto de lei desde o ano de 2007, cujo objetivo é instituir mecanismos de estímulo à instalação de sistemas de coleta, armazenamento e utilização de águas de chuva e de reúso de águas servidas em edificações públicas e privadas.

Alguns estados e municípios vêm editando leis no sentido de reúso de água e aproveitamento de água de chuva, mas muitas vezes elas têm sua aplicabilidade limitada às edificações de uso comercial ou industrial, não abrangendo as residências familiares, que representam a grande parcela das edificações.

Em São Paulo, a lei municipal nº. 12.526 (SÃO PAULO, 2007), estabelece normas e tem como objetivo prevenir enchentes e inundações, além de contribuir para a racionalização do uso de água tratada, obrigando a implantação de sistema para a captação e retenção de água de chuva coletada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m², com o objetivo de se reduzir a

velocidade de escoamento das águas de chuva para as bacias hidrográficas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem.

A lei nº. 4.393 (RIO DE JANEIRO, 2004) obriga as empresas projetistas e de construção civil, que realizam projetos para o estado do Rio de Janeiro, a fazerem a previsão de coletores, caixas de armazenamento e distribuidores de água de chuva para as edificações que abriguem mais de 50 famílias e empresas comerciais com mais de 50 m² de área construída. Esta lei também recomenda que os reservatórios de água de chuva sejam separados dos reservatórios de água potável, indicando alguns usos para a água de chuva, como a lavação de automóveis e de áreas comuns de prédios, rega de jardins e limpeza de banheiros, entre outros.

O estado de Santa Catarina, através da lei nº. 5.722 (SANTA CATARINA, 2006) obriga a instalação de sistemas de captação, tratamento e aproveitamento de água de chuva em edifícios, com número igual ou superior a três pavimentos e área superior a 600 m². Enquadram-se também nesta lei as edificações comerciais tais como hotéis, motéis e flats com um número igual ou superior a oito unidades dotadas de toaletes. Recomenda-se ainda, a possibilidade de aproveitamento das águas de chuva para usos não potáveis como lavação de veículos, garagens, pisos de partes comuns, jardinagem e irrigação de hortas.

Em Curitiba, a lei nº. 10.785 (CURITIBA, 2003) regulamenta a criação do Programa de Conservação e Uso Racional de Águas em Edificações. Este programa objetiva instituir medidas que proporcionem a conservação de água, seu uso racional e a utilização de fontes alternativas para a captação de água nas novas edificações.

Na cidade de São Paulo, a lei nº. 13.276 (SÃO PAULO, 2002) obriga a construção de reservatórios para acumulação das águas de chuva nas edificações. As edificações construídas a partir de 4 de janeiro de 2002 deverão ter tido instalado o sistema de reservatórios quando a área impermeabilizada for maior de 500 m². Em caso de reformas, deverá ser instalado o sistema quando o acréscimo da área impermeabilizada for igual ou superior a 100 m².

Em Blumenau, a lei municipal nº. 7216 (BLUMENAU, 2008a) criou o programa de conservação e uso racional da água nas edificações, que tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água. A referida lei foi revogada e complementada pela lei complementar nº. 691 (BLUMENAU, 2008b), sendo obrigados a disporem de sistema de captação de água da chuva os imóveis utilizados na atividade de lavação de veículos, independentemente do total da área construída e do ano de construção, e as novas edificações com área construída superior a 750 m².

No município de Brusque, a lei nº. 6460 (BRUSQUE, 2011) dispõe sobre os critérios de conservação e uso racional da água nas edificações. Ela condiciona a liberação dos alvarás de construção à obrigatoriedade de previsão no projeto de instalações hidráulicas da implantação

de mecanismo de captação de água de chuva nas edificações. Ficam dispensadas das obrigações constantes nesta lei as edificações residenciais e de uso misto de até 150 m² de área construída e, as edificações comerciais, industriais e de prestação de serviços, com até 300 m² de área impermeabilizada.

ESTUDOS SOBRE O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os estudos que se voltam para a captação e o aproveitamento da água de chuva envolvem, necessariamente, o coeficiente de escoamento superficial. Seguem alguns trabalhos visando destacar o valor do coeficiente superficial adotado e a abrangência do estudo no qual ele foi contemplado.

A captação de água de chuva em condomínios horizontais foi realizada por Costa et al. (2006) em João Pessoa na Paraíba, tendo em vistas usos não-potáveis, tais como jardinagens, lavagem de carros etc., com a finalidade de reduzir o consumo de água nestes empreendimentos. Observou-se uma redução no consumo de água potável nos dias posteriores à ocorrência de chuvas. Pode-se concluir que grande parte do consumo de água do condomínio é destinada para rega de jardins e que o volume determinado no dimensionamento do reservatório, destinado à captação de água de chuva é viável para atender os condomínios. Neste estudo o coeficiente de escoamento superficial foi considerado como sendo igual a 0,8.

Em Portugal, Neves, Bertolo e Rossa (2006) estudaram um sistema de aproveitamento de águas de chuva para uma moradia de três pisos, habitada por quatro pessoas, com área de captação de 117 m². Admitiu-se que a água de chuva seria aproveitada apenas para a descarga dos sanitários, considerando-se um consumo de 45 L/hab/dia, o que representou 180 litros/dia para a família e a série histórica de precipitações foi aquela dos últimos 10 anos. Os autores concluíram que as soluções adotadas mais interessantes para o dimensionamento do reservatório propõem um reservatório com capacidade compreendida entre 4 e 6 m³. O coeficiente de escoamento superficial como foi considerado como sendo igual a 0,85.

Ghisi et al. (2006) avaliaram o potencial de economia no uso de água potável em residências ao substituí-la por água de chuva, em 62 municípios de Santa Catarina. Junto a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), IBGE e municípios obtiveram-se os dados necessários à pesquisa, como dados de precipitação, o consumo de água potável, a população e número de domicílios em cada município incluído na análise. Determinou-se uma área adequada de telhado, com valor médio de 81,84 m². A demanda média da água potável obtida considerando a demanda das 62 cidades foi de 118 litros per capita por dia. Observou-se também que o potencial médio de economia de água potável é de 69%, variando de 34 a 92%, dependendo da sua demanda. Para os cálculos foi adotado o valor do coeficiente de escoamento superficial como sendo igual a 0,80.

A viabilidade econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva,

para usos não potáveis, em uma instituição de ensino localizada em Florianópolis-SC foi analisada por Marinoski e Ghisi (2008). Primeiramente foram realizados os levantamentos de dados da população que ocupa os prédios e das faturas de consumos de água, e realizadas as medições de vazão dos aparelhos sanitários existentes. Levantou-se a frequência e o tempo médio de utilização dos aparelhos, bem como quais são as principais atividades que consomem água, obtendo os usos finais de água e o consumo médio diário e o consumo per capita. Com base nos resultados obtidos e com o auxílio do programa computacional, o Netuno, foi determinado os volumes dos reservatórios de água de chuva. Todas essas etapas foram necessárias para a avaliação do potencial de economia de água potável, que resultou em 45,8%. O coeficiente de escoamento superficial adotado para a cobertura com telhas cerâmicas foi de 0,80.

Minikowski e Maia (2009) verificaram a interferência da adoção de diferentes áreas de captação e tamanhos de reservatórios no atendimento das demandas para usos não potáveis da água na cidade de Irati - PR. O volume do reservatório que pudesse atender a demanda residencial determinada foi obtido por meio do Método Prático Australiano, apresentado na NBR 15527 (ABNT, 2007), sendo que a precipitação foi obtida junto a ANA. Para a determinação da demanda, foi considerado o número de cinco habitantes por residência e o valor de 50 m² para áreas de jardins, tendo por base os seguintes fins não potáveis: lavagem de carros, rega de jardins e descargas em vasos sanitários. As simulações foram realizadas para as edificações que apresentaram áreas de telhado com superfícies de 50; 75; 100; 125; 150; 175 e 200 m². Na pesquisa, adotou-se o valor de 0,8 para o coeficiente de escoamento superficial, não indicando o tipo de telha das edificações. O menor tamanho de reservatório encontrado foi de 0,5, assumindo os valores de 0,75; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50, até o máximo de 3,00 m³. Apesar dos maiores reservatórios apresentarem um melhor atendimento, o menor reservatório considerado, de 0,5 m³, pode atender 12,9 e 38,6% da demanda, respectivamente, para as áreas de captação de 50 e 200 m². Os sistemas que adotarem o menor reservatório para pequenas áreas de captação não terão grande eficiência, mas a combinação de um pequeno reservatório com grande área de captação pode viabilizar a implantação do sistema. Os resultados encontrados para o atendimento das demandas de Irati, em um reservatório de 3 m³ e áreas de captação de 38, 82 e 84 m² foram 32, 49 e 50%, respectivamente.

Cavalcanti (2010) testou diferentes áreas de captação, visando obtenção de resultados que melhor indiquem qual a cobertura mais adequada para ser utilizada no semiárido brasileiro, identificando os diferentes valores de coeficiente de escoamento superficial. Para a realização desta pesquisa, procedeu-se a construção de uma laje de 10 cm de espessura, sobre o telhado de uma cisterna e dividido em quatro áreas de captação com declividade de 10%, aproximadamente. As dimensões de cada área de captação foram de 0,96m x 3,4m, totalizando 3,264 m². Os materiais utilizados em cada área de captação foram cobertura de argamassa de

cimento e areia, cobertura com telhas de cerâmica, cobertura com telha de fibrocimento e cobertura com lona plástica de polietileno. A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que o coeficiente de escoamento superficial, para as precipitações diárias, apresenta baixa eficiência para as coberturas de argamassa de cimento e areia, como também para as telhas de cerâmica. As coberturas com telhas de fibrocimento e lona plástica de polietileno são mais eficientes no aproveitamento da água de chuva, para as condições do semiárido brasileiro. Um aumento na intensidade da chuva reduz as diferenças entre o coeficiente de escoamento superficial dos diferentes tipos de área de captação. Os valores de coeficiente de escoamento superficial encontrados para a cobertura com telha cerâmica variaram entre 0,61 e 0,71, para a cobertura de fibrocimento os valores ficaram entre 0,78 e 0,82 e para a cobertura em lona entre 0,87 e 0,91.

O potencial de economia de água potável, por meio de sistemas de captação de água de chuva, para a lavagem de veículos, em concessionárias na região metropolitana da cidade de Belo Horizonte e os estudos de viabilidade econômica dos sistemas foi estudado por Lage (2010). Identificou-se a precipitação pluviométrica do local de estudo, realizou-se a caracterização das áreas de captação de água de chuva e o levantamento do consumo total de água potável e quantificou-se a média de veículos lavados, permitindo-se desta forma, o cálculo dos volumes de reservatórios inferiores e do potencial de economia de água potável para cada concessionária. Concluiu-se que o retorno do investimento é atrativo financeiramente. No entanto, o ganho maior se dá junto ao meio ambiente, pois a utilização de água de chuva, em substituição à potável, para usos não-potáveis, pode auxiliar na preservação do meio ambiente, bem como, minimizar os impactos de sobrecarga em sistemas de coletas de águas de chuva públicos. O estudo também comprovou que no uso de um reservatório superior, usando-se uma motobomba, o consumo mensal de energia elétrica, não permite ganhos econômicos com o uso de sistema de coleta de água de chuva nas concessionárias estudadas e no caso de não usar motobomba limitam a sua aplicação para usos que necessitem de altura manométrica. Independentemente do método utilizado para o dimensionamento do reservatório para fins de aproveitamento de água de chuva, são utilizados coeficientes de escoamento superficial que variam de 0,80 a 0,90. Na região de Barcelona, Espanha, Farreny et al. (2011) selecionaram quatro telhados, nos quais monitoraram por um período de dois anos, a qualidade da água escoada, bem como analisaram o coeficiente de escoamento superficial dos diversos tipos de cobertura estudados. Os resultados encontrados podem ter importante significado para o planejamento da região, uma vez que a partir desta pesquisa é possível implementar políticas públicas no sentido de estabelecer orientações no tocante a inclinação e rugosidade dos telhados, que incidem diretamente na disponibilidade de recursos hídricos aos sistemas de aproveitamento de águas de chuva.

O enfoque da inclinação e rugosidade dos telhados que Farreny et al. (2011) colocaram em destaque no seu trabalho chama a atenção para o tipo de telhado. Um tipo de telhado que tem

sido bastante estudado é o telhado verde, com estudos voltados, frequentemente, para aspectos de conforto térmico e para a contribuição no retardo do escoamento superficial que deverá ser processado pelos sistemas de drenagem urbana.

Os efeitos dos telhados verdes no escoamento superficial consistem em uma redução no volume e na velocidade da água escoada, devido à capacidade de retenção das plantas e atraso no pico do escoamento, pois ocorre absorção da água no telhado verde (CASTRO; GOLDENFUM, 2008).

Segundo Piergili (2007) pesquisas demonstraram que telhados verdes podem reter até 75% da água de uma chuva, dependendo da porosidade e da espessura do solo, liberando gradualmente essa água na atmosfera, via condensação e transpiração, enquanto retém poluentes atmosféricos em seu solo.

Como destacado, diversos trabalhos adotam o coeficiente de escoamento superficial como sendo igual a 0,8, porém este é um valor médio, que não faz distinção quanto ao tipo de cobertura adotado.

O valor do coeficiente de escoamento superficial foi estudado em diferentes tipos de coberturas, utilizando-se dez construções denominadas de coberturas modelo, instaladas junto ao estacionamento do Campus II, da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), em Blumenau, Santa Catarina (Figura 7).

Figura 7 – Local da construção das coberturas modelo



Fonte: Autor

Foram utilizados tipos de coberturas comuns na região de Blumenau, contemplando telha cerâmica (do tipo germânica e romana, não esmaltadas), fibrocimento, metálica, telhas de cimento, de vidro, além de telhas com material proveniente da reciclagem (tetra-pak) e uma cobertura com telhado verde.

CONSTRUÇÃO DAS COBERTURAS MODELO

A escolha do local para a construção das coberturas modelo considerou a proximidade das edificações e vegetações existentes. Assim, as coberturas foram posicionadas em local aberto, de forma que as edificações e vegetação existentes interferissem o mínimo possível nas condições da altura de precipitação.

As coberturas modelo foram construídas lado a lado, sobre uma mesma estrutura de base, utilizando-se pilares, vigas e sarrafos em madeira, obedecendo-se um distanciamento de 50 centímetros entre cada cobertura, respeitando-se duas diferentes inclinações, 20 e 40% conforme orientação técnica para o tipo de telhado utilizado (Figura 8).

Figura 8 – Vista frontal das coberturas modelo



Fonte: Autor

Na delimitação das áreas das coberturas foi considerado às larguras úteis das telhas (largura efetiva de contribuição), a fim de que todas possuíssem as mesmas áreas de contribuição. Estas dimensões foram determinadas pela cobertura de fibrocimento, fazendo com que as coberturas modelo tenham sido executadas com 1,05 m de largura útil por 2,00 m de comprimento, perfazendo uma área de 2,10 m².

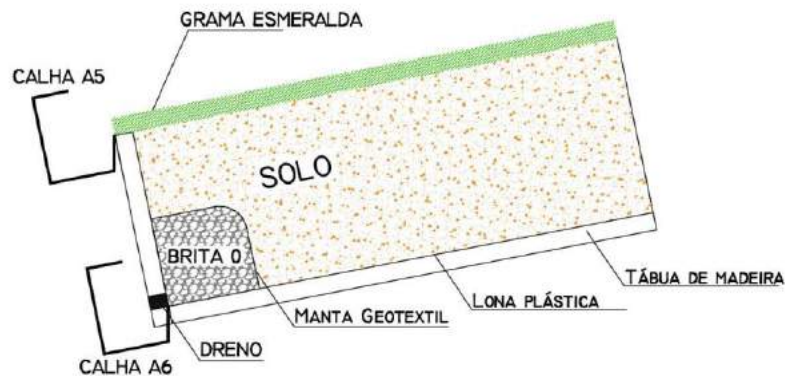
Em função de se adotar duas diferentes inclinações, têm-se áreas em projeção diferentes. Nas coberturas com inclinação de 20% tem-se uma área projetada de 2,06 m² e na inclinação de 40% tem-se uma área projetada de 1,95 m².

Cinco coberturas tinham inclinação de 20% e outras cinco coberturas tinham inclinação de 40%. A determinação das inclinações para cada tipo de cobertura teve como base a indicação dos fabricantes, que especifica intervalos de inclinação recomendados para cada tipo de telha. As coberturas com inclinação de 20%, são as coberturas com telha metálica, telha de fibrocimento, telha tetra-pak, telha de vidro e o telhado verde. As coberturas de telha romana, tetra-pak, de cimento, de vidro e telha germânica foram instaladas com a inclinação de 40%. Destaca-se que o telhado de tetra-pak e o de vidro foram construídos nas duas inclinações e que a telha de vidro liso que foi utilizada possui uma espessura de 4 mm e foi instalada sobre uma prancha de madeira.

O telhado verde foi executado com grama esmeralda (*Zoysia japônica*) sobre uma camada de solo de 20 centímetros. As faces interiores (fundo e laterais) da caixa em madeira que contém a camada de solo foram impermeabilizadas com quatro camadas de lona plástica e foi executado um dreno de brita zero, com altura de 10 centímetros na parte inferior frontal do telhado verde. Esta brita foi envolvida por uma manta geotextil para drenagem, permitindo, desta forma a captação da água infiltrada no solo. A calha superior é destinada a coletar a água proveniente

do escoamento superficial do telhado verde, e a calha inferior tem por objetivo captar a água infiltrada no solo (Figura 9).

Figura 9 – Detalhe do telhado Verde



Fonte: Autor

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Entres os meses de maio a novembro de 2012 foram observados 43 eventos de precipitação durante os quais se registrou as alturas da precipitação e o volume escoado em cada uma das dez coberturas.

As medidas de altura de precipitação foram realizadas com o auxílio de um pluviômetro, de escala variando de 0 a 40 mm, e de um pluviógrafo instalados junto às coberturas modelo (Figura 10). O pluviógrafo é de báscula com área de captação de 198 mm de diâmetro, com registrador (dataloger) e sensibilidade de 0,225 mm de chuva. A utilização do pluviômetro permitiu verificar com facilidade, de imediato, se os volumes de água de chuva coletados nos recipientes eram condizentes com a precipitação ocorrida, identificando-se assim possíveis distorções, fato que na utilização do pluviógrafo, somente seria possível após os dados serem transferidos e tratados.

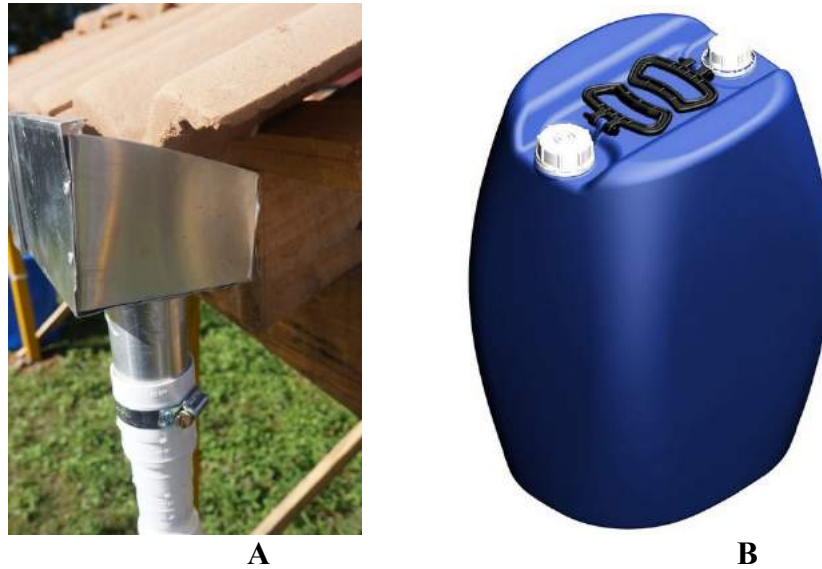
Figura 10 – Localização do pluviógrafo



Fonte: Autor

As águas provenientes do escoamento superficial foram coletadas por calhas metálicas (Figura 11a) de dimensões de 5x10x108 cm, com inclinação de 5%. Estas dispõem de um orifício de saída com diâmetro nominal de 50 mm ligadas por tubos extensíveis de PVC até bombonas plásticas, com capacidade de armazenamento de 50 L (Figura 11b).

Figura 11-A - Detalhe da calha e B – Bombona plástica



Fonte: Autor

As calhas foram instaladas de forma que a metade de sua largura ficasse sob as coberturas, restando, assim 4 cm que estão descobertos e que também contribuem com uma área de captação para o volume total captado. Esta área de captação referente às calhas é significativa, induzindo em diferenças nos resultados finais, pois a área das coberturas modelo é pequena. Para identificar o volume da precipitação coletado por esta parte da calha, foi instalada uma calha com 4 cm de largura, acoplada a um tubo extensível e bombona de armazenamento, de maneira que este valor pode ser descontado do volume total coletado em cada bombona, garantindo que a informação sobre o coeficiente de escoamento estivesse relacionada apenas, efetivamente, ao tipo de telhado.

A água de chuva coletada nas diversas coberturas e armazenada nas bombonas plásticas teve sua massa determinada através de uma balança eletrônica digital, com capacidade de 100 kg e sensibilidade de 20 gramas, com plataforma da base medindo 50x40cm e bateria recarregável, com autonomia de até 60 horas, aferida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro (Figura 12).

Figura 12 – Balança eletrônica digital



Fonte: JBBalanças (2012)

A massa final da água coletada é obtida reduzindo-se da leitura realizada, a massa da bombona e da água coletada pela calha de alumínio de mesma geometria das calhas da cobertura modelo, convertendo-se os valores obtidos para litros.

Estabeleceu-se uma nomenclatura para os volumes escoados nos diferentes tipos de cobertura a fim de facilitar a identificação das bombonas com as diferentes coberturas que recolheram o volume escoado, principalmente no caso das coberturas de vidro e tetra-pak, presentes nas duas inclinações (Quadro 1).

As coberturas com inclinação de 20%, que são as coberturas com telha metálica, telha de fibrocimento, telha tetra-pak, telha de vidro e o telhado verde, tiveram seus volumes de água de chuva escoados denominados, respectivamente, de A1, A2, A3, A4 e A5, sendo que A6 é a denominação do volume de água de chuva drenado no telhado verde.

As coberturas de telha romana, tetra-pak, de cimento, de vidro e telha germânica, com inclinação de 40%, tiveram seus volumes de água de chuva escoados denominados, respectivamente de B1, B2, B3, B4 e B5.

Quadro 1 - Identificação das coberturas modelo

INCLINAÇÃO DE 20%					
A1	A2	A3	A4	A5	A6
Telha metálica	Telha de fibrocimento	Telha tetra-pak	Telha de vidro	Telhado verde	Água de chuva drenada no telhado verde
INCLINAÇÃO DE 40%					
B1	B2	B3	B4	B5	-
Telha romana	Telha tetra-pak	Telha de cimento	Telha de vidro	Telha germânica	-

O volume precipitado em cada cobertura modelo foi considerado com sendo obtido através da Equação 1.

$$V_p = P \times A \quad (1)$$

onde:

V_p = volume precipitado em cada cobertura modelo (L);

P = precipitação (mm);

A = área da cobertura (m²).

Para o cálculo do volume precipitado em cada cobertura modelo, obtido através da multiplicação da precipitação pela área de cada telhado, utilizaram-se as áreas projetadas.

A determinação do coeficiente de escoamento superficial (C), que é a relação entre o volume escoado coletado e o volume precipitado, cujos valores variam de 0 a 1, é expresso pela Equação 2.

$$C = V_{esc} / V_p \quad (2)$$

onde:

C = coeficiente de escoamento superficial;

V_{esc} = volume escoado coletado em cada cobertura modelo (L);

V_p = volume precipitado em cada cobertura modelo (L).

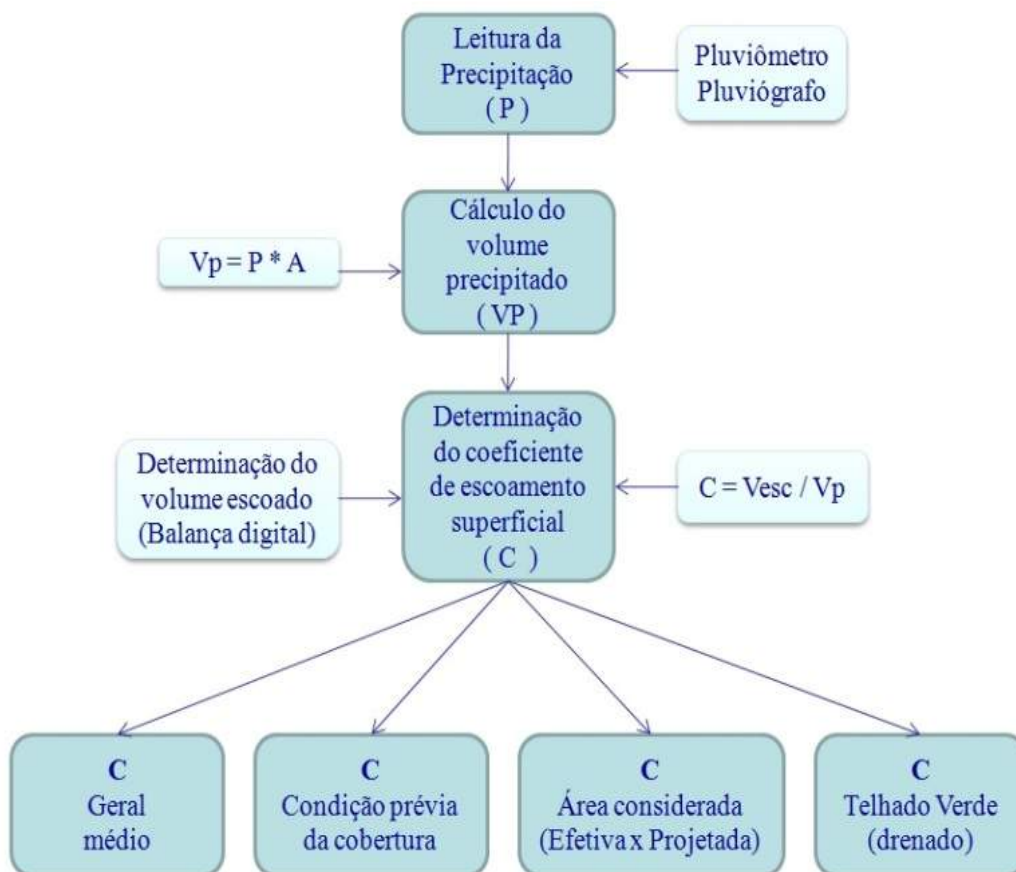
O Quadro 2 foi utilizado para anotação das leituras, e contém a condição das coberturas, o valor da altura de precipitação no período compreendido entre 24 e 48 horas anteriores a leitura (P_{d-2}), a altura da precipitação nas últimas 24 horas (P_d), o volume precipitado (V_p), o volume escoado coletado em cada cobertura (V_{esc}), e o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C) para cada leitura e tipo de cobertura.

Quadro 2 – Modelo para apresentação dos resultados

Coberturas com inclinação de X%														
Tipo de cobertura					1		2		3		4		5	
Leitura	Condição da cobertura	P (mm) (d-2)	P (mm) d	V_p (L)	V_{esc} (L)	C	V_{esc} (L)	C	V_{esc} (L)	C	V_{esc} (L)	C	V_{esc} (L)	C

Com os procedimentos das leituras de altura de precipitação e do volume escoado nos diferentes tipos de cobertura, foi possível obter os resultados do coeficiente de escoamento superficial que estão analisados e discutidos no próximo capítulo. Analisam-se os valores médios do coeficiente de escoamento superficial, de acordo com a condição prévia das coberturas; de acordo com a área de captação considerada e, para o caso do telhado verde além de analisar o coeficiente de escoamento superficial, avaliou-se, também, o volume drenado (Figura 13).

Figura 13 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor

O estudo realizado permitiu de determinar o coeficiente de escoamento superficial para os oito diferentes tipos de cobertura: metálica, fibrocimento, tetra-pak, vidro, romana, cimento, germânica e telhado verde, considerando-se, também, a influência da inclinação para dois tipos: a de tetra-pak e a de vidro. Foi possível, também, realizar uma avaliação do coeficiente de escoamento superficial em função das condições antecedentes das coberturas no que diz respeito ao índice pluviométrico. Além disto, apresentam-se os resultados relativos ao telhado verde, não somente em relação ao volume escoado superficialmente, mas, também, em relação àquele drenado e àquele relativo às perdas.

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL MÉDIO

Os coeficientes de escoamentos superficiais das águas de chuva nos diferentes tipos de cobertura tiveram seus valores médios e desvios-padrões determinados levando-se em conta todas as leituras. Porém, também se determinou os valores do coeficiente de escoamento superficial e do desvio padrão em função da condição da superfície da cobertura, seca ou úmida. Ressalva-se que a condição seca ou úmida foi determinada em função da ocorrência ou não de precipitação no intervalo de 24 a 48 horas anteriores à leitura (d-2) (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão para diferentes tipos de cobertura (inclinação de 20%)

Condição das coberturas	Metálica		Fibrocimento		Tetra-pak		Vidro		Telhado verde	
	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.
Seca	0,90	0,05	0,75	0,18	0,89	0,06	0,87	0,06	0,04	0,04
Úmida	0,88	0,06	0,84	0,07	0,87	0,05	0,85	0,06	0,04	0,02
Qualquer (Seca ou Úmida)	0,89	0,05	0,77	0,16	0,88	0,06	0,87	0,06	0,04	0,04

Tabela 5 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão para diferentes tipos de cobertura (inclinação de 40%)

Condição das coberturas	Romana		Tetra-pak		Cimento		Vidro		Germânica	
	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.
Seca	0,47	0,29	0,91	0,07	0,80	0,17	0,87	0,06	0,53	0,29
Úmida	0,72	0,19	0,88	0,06	0,86	0,07	0,85	0,07	0,77	0,14
Qualquer (Seca ou Úmida)	0,54	0,28	0,90	0,07	0,82	0,15	0,87	0,06	0,60	0,27

Considerando a condição “qualquer” da cobertura, ou seja, sem levar em conta seu estado seco ou úmido, constata-se que a cobertura de telha metálica - com um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,89 e a de tetra-pak - com um valor de 0,88 para inclinação de 20% e de 0,90 para inclinação de 40%, foram as duas coberturas que apresentaram os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial. Observa-se que os valores de desvio padrão foram semelhantes, respectivamente de 0,05, 0,06 e 0,07, com valores pequenos. Considerando apenas os resultados referentes à condição de cobertura seca ou apenas os resultados com condição úmida, verifica-se que os valores médios do coeficiente de escoamento superficial e do desvio padrão são praticamente os mesmos. Ou seja, o coeficiente de escoamento superficial para estes tipos de cobertura não é sensível à condição precedente de precipitação.

A cobertura de vidro liso apresentou coeficiente de escoamento superficial médio e desvio padrão igual nas duas inclinações, 20 e 40%, sendo que o coeficiente de escoamento superficial médio ficou pouco abaixo daquele das coberturas de telha metálica e tetra-pak. Considerando o coeficiente de escoamento superficial médio para as duas condições prévias, ou seca ou úmida, não se verifica variação em relação ao valor médio, bem como o desvio padrão é praticamente constante.

A comparação entre a telha de fibrocimento com a cobertura de telha de cimento mostra uma variação do coeficiente de escoamento superficial de 0,77 para 0,82, respectivamente, com valores do desvio padrão muito semelhantes, 0,16 e 0,15 respectivamente. Porém, ao se realizar uma análise considerando cada condição, ou seca ou úmida, verifica-se grande variação nos resultados. Em ambas as coberturas o valor de desvio padrão reduziu-se consideravelmente na condição úmida, passando de 0,16 para 0,07 na cobertura de fibrocimento e de 0,15 para 0,07, na cobertura de telhas de cimento. Constata-se, então, que o coeficiente de escoamento superficial médio da cobertura da telha de cimento (0,86) se aproxima daquele da cobertura com telha de vidro (0,87), e o da cobertura de fibrocimento revela-se ligeiramente inferior (0,84).

Excluindo-se a cobertura com telhado verde, que apresentou um valor de escoamento superficial médio de 0,04, as coberturas com telhas cerâmicas foram as que apresentaram os menores valores do coeficiente de escoamento superficial, com os maiores valores de desvio padrão. Isto se deve a maior retenção da água sobre este tipo de telha, pela sua maior porosidade, resultando em grande perda de água para os eventos de chuvas de baixa intensidade, alterando significativamente o valor do coeficiente de escoamento superficial em comparação com os eventos de chuvas de maior intensidade.

As coberturas de telha romana e germânica apresentaram um desvio padrão alto, 0,28 e 0,27 para o coeficiente de escoamento superficial médio de 0,54 e 0,60 respectivamente, com a telha romana apresentando um coeficiente de escoamento superficial inferior ao da telha germânica indicando que estas coberturas apresentam maiores perdas e um menor potencial de contribuição em um sistema de aproveitamento de água de chuva, em relação às demais coberturas. Considerando a condição seca, observa-se que o desvio padrão permanece inalterado. Porém, para a condição úmida, verifica-se que os valores médios de desvio padrão reduzem-se consideravelmente, passando de 0,28 para 0,19 na cobertura de telha romana e de 0,27 para 0,14 na cobertura com telha germânica.

Através da análise de todos os resultados (Apêndices A, B, C e D) percebe-se que o aumento na intensidade da chuva reduz a diferença do valor do coeficiente de escoamento superficial dos diversos tipos de cobertura, e quando a superfície está úmida ou saturada há um aumento no valor do coeficiente de escoamento superficial, principalmente nas coberturas com telhas cerâmicas, fibrocimento e de cimento (Tabelas 4 e 5). Em consequência, apresenta-se na seção seguinte a avaliação do coeficiente de escoamento superficial da água de chuva nos diferentes tipos de coberturas em função das condições precedentes de precipitação.

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS DIFERENTES COBERTURAS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ALTURAS DE PRECIPITAÇÃO E DA CONDIÇÃO PRECEDENTE DA COBERTURA

A fim de verificar a influência da altura de precipitação sobre os valores de coeficiente de escoamento superficial foram feitas análises de seus comportamentos para diferentes intervalos de altura de precipitação, conforme demonstram as Tabelas 6 e 7.

Os resultados demonstram que para a cobertura metálica, tetra-pak e vidro, não houve grandes variações do coeficiente de escoamento superficial médio e do desvio padrão. Ou seja, independente da altura de precipitação o valor que o coeficiente de escoamento superficial assume para os três diferentes tipos de cobertura, praticamente, não se altera (Tabela 6). A cobertura de telhado verde apresentou acréscimo no coeficiente de escoamento superficial com o aumento do valor da altura de precipitação. A cobertura com telha de fibrocimento apresentou uma elevação do coeficiente de escoamento superficial médio e redução do valor de desvio

padrão à medida que a altura da precipitação aumentou, até estabilizar quando a altura da precipitação foi de 15 mm. Acima deste valor, o coeficiente de escoamento superficial e o desvio padrão da telha de fibrocimento são semelhantes aos da cobertura de vidro. Isto provavelmente ocorre devido à saturação da superfície das telhas.

Tabela 6 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitação (inclinação de 20%)

Precipitação (mm)	Metálica		Fibrocimento		Tetra-pak		Vidro		Telhado verde	
	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.
	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.
$P \leq 5$	0,89	0,07	0,62	0,27	0,87	0,06	0,86	0,08	0,02	0,02
$5 < P \leq 15$	0,90	0,05	0,75	0,12	0,88	0,07	0,87	0,07	0,03	0,01
$15 < P \leq 25$	0,89	0,05	0,86	0,05	0,91	0,03	0,87	0,05	0,06	0,04
$P > 25$	0,87	0,05	0,86	0,06	0,87	0,05	0,86	0,07	0,08	0,07
Todas leituras	0,89	0,05	0,77	0,16	0,88	0,06	0,87	0,06	0,04	0,04

Tabela 7 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitação (inclinação de 40%)

Precipitação (mm)	Romana		Tetra-pak		Cimento		Vidro		Germânica	
	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.	C	Desv.
	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.	Médio	pad.
$P \leq 5$	0,40	0,33	0,88	0,07	0,67	0,28	0,84	0,08	0,44	0,36
$5 < P \leq 15$	0,49	0,30	0,89	0,06	0,81	0,10	0,87	0,07	0,51	0,27
$15 < P \leq 25$	0,67	0,22	0,95	0,02	0,90	0,05	0,89	0,04	0,75	0,15
$P > 25$	0,73	0,13	0,90	0,07	0,88	0,07	0,88	0,07	0,80	0,09
Todas leituras	0,54	0,29	0,90	0,07	0,82	0,15	0,87	0,07	0,60	0,28

As coberturas de tetra-pak e de vidro que também foram utilizadas com inclinação de 40% (Tabela 7) tiveram o mesmo comportamento que aquele observado quando utilizadas nas coberturas modelo na inclinação de 20%. A cobertura com telha de cimento, assim como a cobertura com telha de fibrocimento, apresentou uma elevação do coeficiente de escoamento superficial médio e redução do valor de desvio padrão até uma altura de precipitação na ordem de 15 mm. Acima deste valor de altura de precipitação, o coeficiente de escoamento superficial médio e o desvio padrão são semelhantes à cobertura metálica e tetra-pak.

Para as coberturas cerâmicas observou-se que à medida que as alturas de precipitação foram aumentando, o valor do coeficiente de escoamento superficial também aumentou, sendo que para a cobertura com telha romana, ele variou de 0,40 a 0,73, e para a cobertura com telha germânica ele ficou entre 0,44 e 0,80. Observando-se o comportamento do desvio padrão, constata-se que este vai se reduzindo, sugerindo que o coeficiente de escoamento superficial tende a atingir seu valor limite. Considerando-se que o desvio padrão das coberturas cerâmicas mesmo no caso de alturas de precipitação maiores é muito superior às demais coberturas, realizou-se a determinação do coeficiente de escoamento superficial em função das alturas de precipitação associadas à condição prévia da cobertura, seca ou úmida (Tabelas 8 a 11).

A cobertura metálica, tetra-pak, vidro e telhado verde, não tiveram alterações significativas, quando se compara as três diferentes situações das coberturas, condição seca, úmida, e todas juntas (Tabelas 6 a 11). Esta constatação verifica-se, inclusive, para diferentes inclinações como no caso da tetra-pak e de vidro, fato que pode ser atribuído às perdas em cada caso. As três primeiras, por terem pequenas perdas por interceptação (por baixa porosidade), e o telhado verde, por ter grandes perdas por interceptação, seja por infiltração ou por evapotranspiração.

A cobertura com telha de fibrocimento, considerando apenas as leituras na condição de cobertura seca (Tabela 8), apresentou aumento do coeficiente de escoamento superficial médio e redução do valor de desvio padrão até valores de altura de precipitação da ordem de 15 mm. Para alturas de precipitação maiores, o coeficiente de escoamento superficial assume a tendência de valor de 0,86, sendo que o valor médio de 0,75 para esta condição é semelhante ao resultado encontrado para o caso em que se consideraram todas as leituras, que foi de 0,77 (Tabela 6).

Na condição úmida, o coeficiente de escoamento superficial da telha de fibrocimento já tende ao valor médio a partir de alturas de precipitação acima de 5 mm, valor semelhante àquele da cobertura de vidro. Portanto, na condição seca e com precipitações até 15 mm ela tem um coeficiente de escoamento superficial entre os valores de 0,58 a 0,73 e para precipitações maiores e/ou com a sua superfície úmida seu coeficiente de escoamento superficial pode ser adotado como sendo igual a 0,84.

Tabela 8 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitações na condição seca (inclinação de 20%)

Precipitação (mm)	Metálica		Fibrocimento		Tetra-pak		Vidro		Telhado verde	
	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.
$P \leq 5$	0,91	0,04	0,58	0,31	0,88	0,05	0,88	0,05	0,02	0,03
$5 < P \leq 15$	0,90	0,06	0,73	0,12	0,89	0,08	0,87	0,07	0,03	0,01
$15 < P \leq 25$	0,89	0,05	0,85	0,06	0,91	0,03	0,88	0,06	0,05	0,04
$P > 25$	0,89	0,05	0,86	0,07	0,88	0,06	0,88	0,06	0,10	0,09
Todas leituras	0,90	0,05	0,75	0,18	0,89	0,06	0,87	0,06	0,04	0,04

Tabela 9 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitação na condição de cobertura seca (inclinação de 40%)

Precipitação (mm)	Romana		Tetra-pak		Cimento		Vidro		Germânica	
	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.
$P \leq 5$	0,31	0,36	0,90	0,06	0,62	0,33	0,86	0,06	0,36	0,39
$5 < P \leq 15$	0,40	0,28	0,89	0,08	0,80	0,11	0,87	0,07	0,44	0,26
$15 < P \leq 25$	0,59	0,20	0,95	0,04	0,90	0,06	0,89	0,06	0,72	0,15
$P > 25$	0,72	0,13	0,90	0,08	0,87	0,08	0,88	0,07	0,79	0,09
Todas leituras	0,47	0,29	0,91	0,07	0,80	0,17	0,87	0,06	0,53	0,29

Tabela 10 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitação na condição de cobertura úmida (inclinação de 20%)

Precipitação (mm)	Metálica		Fibrocimento		Tetra-pak		Vidro		Telhado verde	
	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.
$P \leq 5$	0,84	0,13	0,73	0,14	0,83	0,10	0,82	0,15	0,02	0,00
$5 < P \leq 15$	0,89	0,05	0,85	0,02	0,86	0,02	0,85	0,04	0,03	0,02
$15 < P \leq 25$	0,89	0,03	0,87	0,02	0,91	0,02	0,86	0,04	0,03	0,02
$P > 25$	0,86	0,04	0,85	0,05	0,86	0,04	0,85	0,04	0,06	0,03
Todas leituras	0,88	0,06	0,84	0,07	0,87	0,05	0,85	0,06	0,04	0,02

Tabela 11 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio e desvio padrão em função de diferentes alturas de precipitação na condição de cobertura úmida (inclinação de 40%)

Precipitação (mm)	Romana		Tetra-pak		Cimento		Vidro		Germânica	
	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.	C Médio	Desv. Pad.
$P \leq 5$	0,61	0,17	0,83	0,09	0,79	0,13	0,80	0,13	0,63	0,23
$5 < P \leq 15$	0,71	0,25	0,85	0,03	0,83	0,05	0,83	0,06	0,77	0,12
$15 < P \leq 25$	0,76	0,23	0,93	0,01	0,92	0,03	0,87	0,03	0,80	0,18
$P > 25$	0,74	0,14	0,90	0,06	0,88	0,07	0,87	0,07	0,81	0,10
Todas leituras	0,72	0,19	0,88	0,06	0,86	0,07	0,85	0,07	0,77	0,14

Nas coberturas cerâmicas observou-se que na condição seca, o coeficiente de escoamento médio reduz-se significativamente, sendo que, para a cobertura com telha romana, a média passou de 0,54 na condição qualquer para 0,47, e para a cobertura com telha germânica a média passou de 0,60 para 0,53 (Tabela 5). Já na condição úmida, o coeficiente de escoamento superficial aumentou significativamente, ocorrendo uma redução nos valores de desvio padrão, sendo que, para a cobertura com telha romana, a média passou de 0,54 na condição qualquer para 0,72 na condição úmida. Para a cobertura com telha germânica a média passou de 0,60 para 0,77. Os resultados indicam que as telhas cerâmicas por serem mais porosas, demoram mais para ter a sua superfície saturada, e que para variações de intensidade da chuva, podem apresentar diferenças nas perdas, resultando em valores diferenciados de coeficientes de escoamento superficial.

Considerando apenas as leituras com a superfície úmida e em função da variação da altura de precipitação, nota-se que em todas as coberturas o valor do desvio padrão diminui, assumindo o menor valor dentre as três condições de cobertura, seca, úmida e todas as condições (Tabelas 10 e 11).

Mesmo na condição úmida, o coeficiente de escoamento superficial médio nas telhas cerâmicas é menor do que nos demais telhados, indicando maiores perdas, dentre elas aquelas por respingamento e possíveis vazamentos nos encaixes. Quando secas, destacam-se as perdas por absorção d'água, devido à maior porosidade.

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM FUNÇÃO DA ÁREA EFETIVA E DA ÁREA DE PROJEÇÃO DO TELHADO

Segundo a norma NBR 15.527 (ABNT, 2007) a área de captação é a projeção na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada. Esta área é a efetivamente utilizada

para o dimensionamento dos reservatórios de água de chuva, através de diferentes métodos. Pretendeu-se, então, verificar se há variação no valor do coeficiente de escoamento superficial quando se utiliza a área de captação igual à área efetiva da cobertura com 2,10 m², em relação à situação quando a área de captação é considerada como sendo igual à área projetada, que para as coberturas com inclinação de 20% é de 2,06 m² e para inclinação de 40% é de 1,95 m². As tabelas 12 e 13 apresentam os valores do coeficiente de escoamento superficial médio (todas as situações precedentes de cobertura, úmida ou seca ou qualquer) e de desvio padrão para as duas situações.

Pode-se observar que não se constata variação do coeficiente de escoamento superficial em função do cálculo da área de captação ter sido considerada a efetiva ou a projetada.

Tabela 12 – Variação do coeficiente de escoamento superficial médio e do desvio padrão de acordo com a área de captação considerada (inclinação de 20%)

Área	Metálica		Fibrocimento		Tetra-pak		Vidro		Telhado verde	
	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.
Projetada	0,89	0,05	0,77	0,16	0,88	0,06	0,87	0,06	0,04	0,04
Efetiva	0,88	0,05	0,76	0,15	0,87	0,06	0,85	0,06	0,04	0,04

Tabela 13 – Variação do coeficiente de escoamento superficial médio e do desvio padrão de acordo com a área de captação considerada (inclinação de 40%)

Área	Romana		Tetra-pak		Cimento		Vidro		Germânica	
	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.	C Médio	Desv. pad.
Projetada	0,56	0,29	0,90	0,06	0,82	0,15	0,87	0,06	0,60	0,27
Efetiva	0,50	0,26	0,83	0,06	0,76	0,14	0,81	0,06	0,56	0,26

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO TELHADO VERDE

A cobertura de telhado verde apresenta coeficiente de escoamento superficial muito baixo, resultando em um valor médio de 0,04 (Tabela 4), sendo este valor praticamente desprezível. Em precipitações de maior intensidade e volume, os valores foram bem superiores, devendo-se considerar principalmente quando da condição antecedente for úmida ou parcialmente saturada. Avaliou-se, então, o escoamento de água de chuva drenado através do telhado verde. Na condição seca, o telhado verde começa a apresentar um volume drenado no caso de alturas de

precipitação acima de 15 mm (Tabela 14). Comparou-se então, o volume precipitado (Vp) sobre o telhado verde, o escoamento superficial e o drenado (Tabela 14). No período de estudo o volume precipitado (Vp) sobre o telhado verde é de 1.337,30 litros. O escoamento superficial representou 77,50 litros e o valor drenado foi de 589,50 litros, que somados representam um montante de 667,00 litros, correspondendo a 49,88% do volume precipitado passível de ser coletado e de contribuir para o sistema de aproveitamento de água de chuva. As perdas que representam, praticamente, 50%, indicam perdas por evapotranspiração. Tomaz (2007) indicou que edificações com telhados verdes apresentam, em média, retenção de 15% a 70% das águas de chuva.

Depois de iniciada a contribuição por drenagem e terminada a precipitação, o telhado verde continua contribuindo lentamente durante um determinado intervalo de tempo. O fator de retardo é importante para auxiliar a prevenção de alagamentos em áreas urbanizadas, que dispõem de menos áreas permeáveis.

No que diz respeito à utilização do telhado verde deve-se, portanto, no dimensionamento de um reservatório de sistema de aproveitamento de água de chuva, considerar o volume drenado, uma vez que o seu coeficiente de escoamento superficial é desprezível.

Tabela 14 – Telhado Verde (inclinação de 20%)

							Escoamento		Drenado	Evapotranspiração
Leit.	Condição	P (mm) (d-4)	P (mm) (d-3)	P (mm) (d-2)	P (mm) d	Vp (L)	Vesc (L)	C	Vdre (L)	Vetr (L)
1	Seca	0,0	0,0	0,0	7,7	15,8	0,8	0,05	0,0	15,0
2	Seca	0,0	7,7	0,0	4,3	8,8	0,3	0,03	0,0	8,5
3	Seca	0,0	0,0	0,0	0,5	0,9	0,0	0,00	0,0	0,9
4	Seca	0,0	0,5	0,0	2,7	5,6	0,2	0,03	0,0	5,4
5	Seca	0,0	0,0	0,0	24,3	50,1	2,1	0,04	3,5	44,5
6	Úmida	0,0	0,0	24,3	30,2	62,1	1,8	0,03	46,8	13,5
7	Úmida	0,0	24,3	30,2	60,3	124,2	9,1	0,07	84,7	30,5
8	Seca	0,0	0,0	0,0	31,0	63,9	10,5	0,16	42,7	10,6
9	Seca	0,0	0,0	0,0	28,6	58,9	1,2	0,02	27,2	30,4
10	Úmida	0,0	0,0	28,6	6,0	12,4	0,3	0,03	17,1	-5,1
11	Seca	28,6	6,0	0,0	9,2	19,0	0,1	0,01	20,4	-1,6
12	Seca	0,0	9,2	0,0	14,9	30,6	0,5	0,02	27,1	3,0
13	Seca	0,0	0,0	0,0	15,7	32,3	1,3	0,04	5,0	26,0

14	Seca	15,7	0,0	0,0	10,7	22,0	0,8	0,04	0,0	21,2
15	Seca	0,0	0,0	0,0	5,9	12,2	0,2	0,02	0,2	11,7
16	Úmida	0,0	0,0	5,9	29,0	59,7	2,5	0,04	45,9	11,3
17	Seca	0,0	0,0	0,0	31,3	64,5	1,7	0,03	16,1	46,7
18	Úmida	0,0	0,0	31,3	2,5	5,2	0,1	0,02	21,2	-16,2
19	Úmida	0,0	31,3	2,5	29,0	59,7	11,6	0,19	11,6	36,5
20	Úmida	31,3	2,5	29,0	8,0	16,5	0,6	0,03	34,2	-18,3
21	Úmida	2,5	29,0	8,0	3,0	6,2	0,1	0,01	3,6	2,5
22	Úmida	29,0	8,0	3,0	25,0	51,5	1,3	0,02	42,3	7,9
23	Úmida	8,0	3,0	25,0	23,8	49,0	1,1	0,02	40,4	7,6
24	Úmida	3,0	25,0	23,8	12,0	24,7	0,0	0,00	34,6	-9,9
25	Seca	0,0	0,0	0,0	13,0	26,8	0,8	0,03	0,0	26,0
26	Seca	0,0	0,0	0,0	11,0	22,7	0,7	0,03	0,0	21,9
27	Seca	0,0	0,0	0,0	9,5	19,6	0,6	0,03	0,2	18,8
28	Seca	0,0	0,0	0,0	23,9	49,2	5,8	0,12	0,4	43,0
29	Seca	0,0	0,0	0,0	1,7	3,5	0,0	0,00	0,0	3,5
30	Seca	0,0	0,0	0,0	6,0	12,4	0,4	0,03	0,0	11,9
31	Úmida	0,0	0,0	6,0	15,9	32,8	1,9	0,06	0,2	30,7
32	Seca	0,0	0,0	0,0	7,6	15,7	0,2	0,01	0,0	15,5
33	Seca	0,0	0,0	0,0	23,0	47,4	1,6	0,03	0,1	45,7
34	Seca	0,0	0,0	0,0	19,0	39,1	1,8	0,05	27,5	9,8
35	Seca	0,0	0,0	0,0	11,0	22,7	1,1	0,05	0,1	21,4
36	Úmida	0,0	0,0	11,0	39,3	81,0	7,1	0,09	34,5	39,4
37	Seca	39,3	0,0	0,0	5,7	11,7	0,3	0,02	1,8	9,7
38	Seca	0,0	5,7	0,0	4,4	9,1	0,6	0,06	0,0	8,5
39	Seca	0,0	0,0	0,0	5,5	11,3	0,3	0,03	0,0	11,0
40	Seca	0,0	0,0	0,0	7,0	14,4	0,4	0,03	0,0	14,0
41	Úmida	0,0	0,0	7,0	9,4	19,4	0,9	0,05	0,0	18,4
42	Seca	7,0	9,4	0,0	5,2	10,7	0,3	0,03	0,0	10,3
43	Seca	0,0	0,0	0,0	15,8	32,4	4,5	0,14	0,0	27,9
Soma					649,2	1337,0	77,5		589,5	670,3

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram de determinar o coeficiente de escoamento superficial para oito diferentes tipos de coberturas, de telha metálica, de fibrocimento, de tetra-pak, de telha romana germânica; de vidro, de cimento e telhado verde.

Para a cobertura metálica, de tetra-pak e de vidro, independente da altura de precipitação e da condição prévia, seca ou úmida, o valor do coeficiente de escoamento superficial praticamente não se altera. Estes telhados apresentaram os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial médio, 0,89, 0,88 e 0,87, respectivamente.

Para as coberturas com telha tetra-pak e de vidro, os resultados foram idênticos nas duas inclinações consideradas, 20 e 40%.

O coeficiente de escoamento superficial médio da cobertura com telha de cimento foi 0,82 e para telha de fibrocimento foi de 0,77. Para a condição seca a média se mantém similar, com exceção para alturas de precipitação abaixo de 5 mm. Na condição úmida ou com alturas de precipitações superiores a 15 mm apresentam um coeficiente de escoamento superficial semelhante ao telhado de vidro.

Desconsiderando o telhado verde, que apresentou valores desprezíveis de escoamento superficial, os menores valores de coeficiente de escoamento superficial médio foram das coberturas com telhas cerâmicas, a telha romana 0,54 e a telha germânica 0,60. Estas apresentam grande variação de acordo com a condição precedente da cobertura, úmida ou seca. Para a cobertura de telha romana, na condição seca, o valor do coeficiente de escoamento superficial médio é de 0,47 enquanto para a condição úmida passa para 0,72. Para a cobertura com telha germânica, na condição seca, o valor foi de 0,53 e na condição úmida de 0,77. Os valores de escoamento superficial de ambas aumentam conforme a incidência de maiores alturas de precipitação. Entretanto, mesmo considerando apenas as leituras de condição úmida, apresentaram valores menores do que os demais tipos de telhas, indicando menor potencial de contribuição para um sistema de aproveitamento de água de chuva.

As telhas cerâmicas são mais permeáveis do que as telhas metálicas, ou seja, parte da água é absorvida pela telha e parte é escoada. Dessa maneira, para uma mesma precipitação, sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva que apresentam esse tipo de telha na cobertura de captação, recolhem um volume de água inferior aos que utilizam telhas metálicas, e principalmente se a chuva for de baixa intensidade.

Quando secas, as coberturas cerâmicas apresentaram grandes perdas, ligadas à interceptação, destacando-se a absorção devido a sua maior porosidade. As coberturas com telha metálica, tetra-pak e de vidro tem baixa porosidade, e conseqüentemente, baixa perdas por absorção. Quando as telhas cerâmicas já estiverem úmidas as perdas podem estar relacionadas a outros

fatores, dentre eles o vazamento nos encaixes das telhas, o respingamento, a magnitude e intensidade da precipitação e a ação dos ventos. Um aumento na intensidade da precipitação reduz as diferenças entre o coeficiente de escoamento superficial dos diferentes tipos de coberturas, sugerindo que a maior perda acontece por absorção nas telhas mais porosas.

Para maximizar a captação de água de chuva, ou seja, obter o maior coeficiente de escoamento superficial pode-se utilizar as coberturas de metálica, vidro ou de tetra-pak. Sugere-se, então por uma questão de durabilidade, que a cobertura mais indicada para um sistema de captação de água de chuva é a cobertura com telhas metálicas, sem levar em conta outros aspectos intervenientes.

O volume do reservatório de descarte da primeira água de chuva, indicado para limpeza da cobertura pode ser revisto em função do tipo de telhado.

No dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva através de processo de simulação, é possível utilizar-se um coeficiente de escoamento superficial diário e de acordo com a altura de precipitação, ao invés de se utilizar um coeficiente constante, além de automatizar o cálculo deste, através da análise das condições precedentes, da altura precipitada e da intensidade da precipitação.

O coeficiente de escoamento superficial do telhado verde de 0,04 é desprezível. Porém, se em um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva se captar a água drenada através da camada de solo, os valores coletados são próximos a 50% dos valores precipitados, e dependendo do tipo de solo adotado, pode-se ter um resultado ainda melhor.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 215 p.: il. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>>. Acessado em fevereiro de 2012.

ANA, Agência nacional de Águas. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. (Cadernos de Recursos Hídricos, 2). 126p.

ARAÚJO FILHO, J.C.; RIBEIRO, M.R. Infiltração de água em Cambissolos do Baixo Irecê (Ba). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.20, p.263-370, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de chuva: Aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis**. NBR 15.527, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações prediais de água fria**. NBR 5626, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações prediais de águas pluviais**. NBR 10.844, Rio de Janeiro, 1989.

BERTONI; J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990, 355p.

BLUMENAU. Lei n. 7216 de 25 de janeiro de 2008. Cria o programa de conservação e uso racional da água nas edificações no município de Blumenau, Blumenau-SC, 2008a.

BLUMENAU. Lei complementar n. 698 de 29 de setembro de 2008. Institui o Programa de Conservação e Uso Racional de Água no município de Blumenau. Blumenau-SC, 2008b.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 3 out. 2011.

BRUSQUE. Lei n. 6.460 de 22 de março de 2011 que regulamenta a lei complementar municipal 114/2005, dispondo sobre os critérios do programa de conservação e uso racional da água nas edificações - PROCURAE, Brusque-SC, 2011.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residências multifamiliares na cidade de São Carlos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, 2004.

CASTRO, A.S; GOLDENFUM, J.A. **Uso de telhados verdes no controle qualiquantitativo do escoamento superficial urbano**. Agosto de 2008. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/arquivos/documento/Resultados%20Preliminares%20Telhado%20Verde%20pdf.pdf>>. Acesso em: 22 abr 2012.

CAVALCANTI, N. B. Efeito do escoamento da água de chuva em diferentes coberturas. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v.7, n.4, p. 201-210, 2010.

CHAVES, H.M.L.; ORLOWISK, W.E; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.17, p.141-147, 1993.

CORREA, C.B.; GONZÁLEZ, F.J.N. **O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas**. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo - NUTAU, Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, São Paulo / 2002.

COSTA, I. Y. da; SANTOS, A. G.; BURITY, F. A. **Captação de Água de Chuva em Condomínios Horizontais**. SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 6., 2006, João Pessoa.

COSTA, R. H. P. G; TELLES, D. D. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2007.

COSTA, R. H. P. G; TELLES, D. D. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2011.

CURITIBA. Lei Municipal n. 10.785, de 18 de setembro de 2003. Disponível em:

<<http://www.recicloteca.org.br/Default.asp?ID=107&Editoria=9&SubEditoria=46&Ver=1>>.

Acesso em: 05 out. 2011.

EVERTS, C.J.; KANWAR, R.S. Interpreting tension- infiltrometer data for quatifying soil macropores:some pratical considerations. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v.36, p.423-428, 1992.

FARRENY, R. et al. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. **Physics and Chemistry of the Earth**, 45, p.3245-3254, 2011.

FELLOWS, D. K. **The environment of mankind: an introduction to physical geography**. New York: John Wiley & Sons. 1975. 484 p.

FRASIER, G. W.. **Proceedings of water harversting symposium**. Berkeley: USDA (United states agricultural research service), 1975.

Friedrich, K. **Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Restabfaellen**. Unpublished masters thesis at the Institute for water quality ande waste management (ISAH), 2002, University of Hanover.

GUANGHUI, M. et. al. The quality and major influencing factors of *runoff* in Beijing's urban area. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS. Manheim. 2001. **Proceedings**. Germany, 2001. p10.

GHISI, E. et al. **Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil**. Building and Environment, West Lafayette, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006.

GOULD, J; NISSEN-PETERSEN; E. **Rainwwater catchment systems for domestic supply: Design, construction and implementation**. Londres, ITDG Publishing 1999, 335p.

HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS, v.7, n.4, p. 75-95, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: set. 2012

JB BALANÇAS. Disponível em: <<http://www.jbbalanca.com.br>>. Acesso em: set. 2012

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo, Nobel, 1984. 408 p.

KHAN, I. A. Domestic roof water harvesting technology in that desert, Índia. RWH Conference. IITD. New Delhi, abril de 2001.

LAGE, E. S. **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte**: Potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. 2010. 181p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LOPES, J. E.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD-5706. São Paulo, Julho de 2002.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Ed. do Autor, 1995. 497p.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & Águas**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 2004. 977p.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis-SC**. Florianópolis-SC, 2008.

MAY, S. **Estudo da viabilidade de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria** – Uso racional e reúso. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Irati-PR. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 7, n.2, p.181-188, 2009.

MORIN, J. VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p. 1223-1227,

1996.

NEVES, M. V; BERTOLO, E; ROSSA, S. **Aproveitamento e reutilização da água para usos domésticos**. Jornadas de hidráulica, recursos hídricos e meio ambiente, Porto, Portugal, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Declaração Universal dos Direitos da Água, 1992. Disponível em: <<http://www.sesisp.org.br/agua/telas/direitos.asp>>. Acesso em: 20 set. 2012.

OTTONI, M. V. **Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração**. UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

PERROUX, K. M.; WHITE, I. Designs for disc permeameters. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.52, p.1205-1215, 1988.

PÉRTILE, E., ALMADA, P.C.P. de A., VIEIRA, A.J. **Organizar uma rede de pluviometria, considerando as necessidades dos estados envolvidos: RS, SC e PR**. Florianópolis - SC: Epagri, 2009. 13p. (Relatório do Projeto PREVISÃO DE EVENTOS EXTREMOS NO SUL DO BRASIL – FINEP 14). Disponível em: <http://circam.com.br/finep14/Rel_FINEP14_Moni.PDF>. Acesso em: Novembro de 2012.

PIERGILI, A.V.P. **Por que utilizar telhados verdes?** 2007. Disponível em: <http://sitiogralhaazul.net/dev15/index.php?option=com_content&view=article&id=42:por-que-utilizar-telhados-verdes&catid=30:design-ecolo>. Acesso em: 21 abr 2012.

POTT, C. A. DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.19-27, 2003.

RIO DE JANEIRO. Lei Estadual n. 4.393, de 16 de setembro de 2004. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/ anotada/3274967/lei-4393-04-rio-de-janeiro>>. Acesso em: 05 out. 2011.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.289-298. 1992.

ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting *runoff*, infiltration e soil loss. **Catena**, v.12, p.79-85, 1985.

SABESP. Programa de Uso Racional de Água. 2011. Disponível em:
<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=129>>. Acesso em: 04 out. 2012.

SALES, L.E.O. et al. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SANTA CATARINA. Lei Estadual nº 5.722, de 21 de agosto de 2006. Disponível em:
<<http://200.192.66.20/ALESC/PesquisaDocumentos.aspr>>. Acesso em: 05 out. 2011.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 12.526, de 2 de janeiro de 2007. Disponível em:
<<http://www.al.sp.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 05 out. 2011.

SÃO PAULO. Lei Municipal nº 13.276, 04 de janeiro de 2002. Disponível em:
<<http://www.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 05 out. 2011

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st Century**. IHP, UNESCO, 1998, 37p.

SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. **Infiltration measurements with double ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.9, n.2, p.161-168, 1987.

SILVA DIAS, P.L., SCHUBERT, W.H., DE MARIA, M. **Large- Scale response of the tropical atmosphere to transient convection**. J Atmos Sci, V.40, p.2689–2707, 1993.

TOMAZ, P. **Conservação da Água**. Navegar Editora, São Paulo, p. 294. 1998.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água**. 02 ed. São Paulo: Navegar MF, 2001.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar. 2003.

TOMAZ, Plínio. **Poluição Difusa**. São Paulo: Navegar Editora, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. vol. IV. Porto Alegre: ABES, 1993.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, janeiro/março, p. 61- 68, 2000.

TUNDISI, J.G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. Ciência e Cultura, ano 55, n. 4, p. 31-33, 2003a.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2004.

VAES, G.; BERLAMONT, J. The impact of rainwater reuse on combined sewer overflow (CSO) emissions. **Water Science and Technology**, v.39, n.5, p. 57-64, 1999.

VESILIND, A.; MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Cengage Learning, 2011. 438 p.

VIANNA, P. **A água vai acabar?** A importância dos conflitos pela água na formação do Brasil. In: ALBUQUERQUE, E. S. Que país é esse? Pensando o Brasil contemporâneo. São Paulo: Globo, 2005. p. 341-368.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw- Hill, 1975. 245p.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999.

WATERFALL, P. H. **Harvesting rainwater for landscape use**. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978, 477p.

APÊNDICES

Apêndice A – Leituras realizadas nas coberturas com inclinação de 20%

Leitura	Tipo de cobertura				Metálico		Fibrocimento	
	Condição	P (mm) (d-2)	P (mm) d	Vp (L)	Vesc (L)	C	Vesc (L)	C
1	Seca	0,0	7,7	15,8	14,4	0,91	10,7	0,68
2	Seca	0,0	4,3	8,8	8,2	0,93	6,1	0,69
3	Seca	0,0	0,5	0,9	0,8	0,86	0,1	0,15
4	Seca	0,0	2,7	5,6	5,3	0,96	5,0	0,90
5	Seca	0,0	24,3	50,1	45,7	0,91	41,7	0,83
6	Úmida	24,3	30,2	62,1	51,0	0,82	49,1	0,79
7	Úmida	30,2	60,3	124,2	113,0	0,91	111,0	0,89
8	Seca	0,0	31,0	63,9	55,8	0,87	52,4	0,82
9	Seca	0,0	28,6	58,9	55,9	0,95	54,1	0,92
10	Úmida	28,6	6,0	12,4	10,9	0,88	10,7	0,86
11	Seca	0,0	9,2	19,0	17,0	0,90	16,0	0,84
12	Seca	0,0	14,9	30,6	29,8	0,97	27,8	0,91
13	Seca	0,0	15,7	32,3	28,5	0,88	25,2	0,78
14	Seca	0,0	10,7	22,0	20,9	0,95	18,5	0,84
15	Seca	0,0	5,9	12,2	11,7	0,97	9,5	0,78
16	Úmida	5,9	29,0	59,7	52,7	0,88	53,6	0,90
17	Seca	0,0	31,3	64,5	52,9	0,82	50,5	0,78
18	Úmida	31,3	2,5	5,2	4,8	0,94	4,3	0,83
19	Seca	2,2	29,0	59,7	53,9	0,90	54,5	0,91
20	Úmida	29,0	8,0	16,5	13,8	0,84	14,1	0,85
21	Úmida	8,0	3,0	6,2	4,7	0,75	3,9	0,63
22	Úmida	3,0	25,0	51,5	47,1	0,91	46,1	0,89
23	Úmida	25,0	23,8	49,0	44,5	0,91	44,5	0,91
24	Úmida	23,8	12,0	24,7	22,1	0,90	21,2	0,86
25	Seca	0,0	13,0	26,8	25,4	0,95	20,4	0,76
26	Seca	0,0	11,0	22,7	19,7	0,87	17,1	0,75
27	Seca	0,0	9,5	19,6	17,1	0,88	15,4	0,78
28	Seca	0,0	23,9	49,2	43,5	0,88	43,1	0,87
29	Seca	0,0	1,7	3,5	3,1	0,89	1,3	0,37
30	Seca	0,0	6,0	12,4	11,5	0,93	9,9	0,80
31	Úmida	6,0	15,9	32,8	28,0	0,85	27,0	0,82
32	Seca	0,0	7,6	15,7	14,9	0,95	10,6	0,67
33	Seca	0,0	23,0	47,4	41,8	0,88	38,9	0,82
34	Seca	0,0	19,0	39,1	38,5	0,98	37,5	0,96
35	Seca	0,0	11,0	22,7	19,0	0,84	18,0	0,79
36	Úmida	11,0	39,3	81,0	67,2	0,83	67,0	0,83
37	Seca	0,0	5,7	11,7	10,6	0,91	7,6	0,64
38	Seca	0,0	4,4	9,1	8,2	0,90	7,3	0,80
39	Seca	0,0	5,5	11,3	9,7	0,85	5,1	0,45
40	Seca	0,0	7,0	14,4	13,4	0,93	10,1	0,70
41	Úmida	7,0	9,4	19,4	18,6	0,96	15,8	0,81
42	Seca	0,0	5,2	10,7	8,2	0,77	5,5	0,52
43	Seca	0,0	15,8	32,4	26,7	0,82	27,2	0,84

Apêndice B – Leituras realizadas nas coberturas com inclinação de 20%

Leitura	Tipo de cobertura				Tetra-pak		Vidro	
	Condição	P (mm) (d-2)	P (mm) d	Vp (L)	Vesc (L)	C	Vesc (L)	C
1	Seca	0,0	7,7	15,8	14,5	0,92	14,7	0,93
2	Seca	0,0	4,3	8,8	8,0	0,91	7,9	0,90
3	Seca	0,0	0,5	0,9	0,8	0,86	0,8	0,86
4	Seca	0,0	2,7	5,6	5,2	0,93	5,3	0,95
5	Seca	0,0	24,3	50,1	46,6	0,93	45,2	0,90
6	Úmida	24,3	30,2	62,1	51,4	0,83	50,4	0,81
7	Úmida	30,2	60,3	124,2	112,5	0,91	111,3	0,90
8	Seca	0,0	31,0	63,9	55,2	0,86	55,1	0,86
9	Seca	0,0	28,6	58,9	57,2	0,97	56,1	0,95
10	Úmida	28,6	6,0	12,4	10,6	0,86	10,3	0,83
11	Seca	0,0	9,2	19,0	17,7	0,93	17,0	0,90
12	Seca	0,0	14,9	30,6	29,5	0,97	28,8	0,94
13	Seca	0,0	15,7	32,3	29,5	0,91	28,5	0,88
14	Seca	0,0	10,7	22,0	20,8	0,94	20,6	0,93
15	Seca	0,0	5,9	12,2	12,0	0,98	12,0	0,98
16	Úmida	5,9	29,0	59,7	51,5	0,86	52,0	0,87
17	Seca	0,0	31,3	64,5	53,4	0,83	52,1	0,81
18	Úmida	31,3	2,5	5,2	4,7	0,90	4,8	0,93
19	Seca	2,2	29,0	59,7	52,0	0,87	52,5	0,88
s20	Úmida	29,0	8,0	16,5	13,8	0,84	13,4	0,81
21	Úmida	8,0	3,0	6,2	4,7	0,76	4,4	0,71
22	Úmida	3,0	25,0	51,5	48,0	0,93	45,5	0,88
23	Úmida	25,0	23,8	49,0	45,1	0,92	43,5	0,89
24	Úmida	23,8	12,0	24,7	21,5	0,87	22,0	0,89
25	Seca	0,0	13,0	26,8	25,1	0,94	24,0	0,90
26	Seca	0,0	11,0	22,7	19,5	0,86	19,2	0,85
27	Seca	0,0	9,5	19,6	16,4	0,84	16,7	0,85
28	Seca	0,0	23,9	49,2	47,2	0,96	43,1	0,88
29	Seca	0,0	1,7	3,5	2,8	0,81	2,9	0,82
30	Seca	0,0	6,0	12,4	11,6	0,94	10,6	0,86
31	Úmida	6,0	15,9	32,8	29,0	0,89	26,9	0,82
32	Seca	0,0	7,6	15,7	14,2	0,91	14,2	0,91
33	Seca	0,0	23,0	47,4	42,4	0,90	41,9	0,88
34	Seca	0,0	19,0	39,1	38,2	0,98	37,7	0,96
35	Seca	0,0	11,0	22,7	20,4	0,90	16,9	0,75
36	Úmida	11,0	39,3	81,0	67,1	0,83	65,5	0,81
37	Seca	0,0	5,7	11,7	10,0	0,85	10,2	0,87
38	Seca	0,0	4,4	9,1	8,0	0,88	7,7	0,85
39	Seca	0,0	5,5	11,3	8,8	0,78	8,5	0,75
40	Seca	0,0	7,0	14,4	12,9	0,89	12,6	0,88
41	Úmida	7,0	9,4	19,4	17,0	0,88	17,0	0,88
42	Seca	0,0	5,2	10,7	7,6	0,71	8,0	0,75
43	Seca	0,0	15,8	32,4	25,0	0,77	25,0	0,77

Apêndice C – Leituras realizadas nas coberturas com inclinação de 40%

Leitura	Tipo de cobertura				Tetra-pak		Vidro	
	Condição	P (mm) (d-2)	P (mm)	Vp (L)	Vesc (L)	C	Vesc (L)	C
1	Seca	0,0	7,7	14,9	14,2	0,95	14,0	0,94
2	Seca	0,0	4,3	8,3	7,8	0,94	7,5	0,90
3	Seca	0,0	0,5	0,9	0,8	0,91	0,7	0,83
4	Seca	0,0	2,7	5,3	5,1	0,97	5,0	0,95
5	Seca	0,0	24,3	47,4	45,3	0,96	44,0	0,93
6	Úmida	24,3	30,2	58,8	49,4	0,84	47,4	0,81
7	Úmida	30,2	60,3	117,6	110,0	0,94	107,7	0,92
8	Seca	0,0	31,0	63,9	53,0	0,83	54,8	0,86
9	Seca	0,0	28,6	55,8	55,2	0,99	53,8	0,97
10	Úmida	28,6	6,0	11,7	9,6	0,82	8,9	0,76
11	Seca	0,0	9,2	17,9	17,2	0,96	17,3	0,97
12	Seca	0,0	14,9	29,0	28,5	0,98	27,3	0,94
13	Seca	0,0	15,7	30,6	29,8	0,97	26,8	0,87
14	Seca	0,0	10,7	20,9	20,0	0,96	19,5	0,93
16	Úmida	0,0	5,9	11,5	9,6	0,83	8,9	0,78
15	Seca	5,9	29,0	56,6	55,2	0,98	53,8	0,95
17	Seca	0,0	31,3	61,0	50,4	0,83	48,8	0,80
18	Úmida	31,3	2,5	4,9	4,3	0,89	4,3	0,89
19	Seca	2,2	29,0	56,6	53,1	0,94	51,8	0,92
20	Úmida	29,0	8,0	15,6	13,0	0,83	12,5	0,80
21	Úmida	8,0	3,0	5,9	4,5	0,77	4,1	0,70
22	Úmida	3,0	25,0	48,8	45,6	0,94	43,3	0,89
23	Úmida	25,0	23,8	46,4	43,6	0,94	41,6	0,90
24	Úmida	23,8	12,0	23,4	20,9	0,89	20,8	0,89
25	Seca	0,0	13,0	25,4	24,0	0,95	22,9	0,90
26	Seca	0,0	11,0	21,5	19,1	0,89	19,0	0,88
27	Seca	0,0	9,5	18,5	15,5	0,84	15,4	0,83
28	Seca	0,0	23,9	46,6	45,3	0,97	41,3	0,89
29	Seca	0,0	1,7	3,3	2,7	0,80	2,8	0,83
30	Seca	0,0	6,0	11,7	11,3	0,97	10,3	0,88
31	Úmida	6,0	15,9	31,0	28,3	0,91	25,9	0,84
32	Seca	0,0	7,6	14,8	13,5	0,91	13,5	0,91
33	Seca	0,0	23,0	44,9	41,9	0,93	39,1	0,87
34	Seca	0,0	19,0	37,1	36,4	0,98	35,9	0,97
35	Seca	0,0	11,0	21,5	19,6	0,91	16,8	0,78
36	Úmida	11,0	39,3	76,6	65,5	0,85	62,5	0,82
37	Seca	0,0	5,7	11,1	9,7	0,87	10,0	0,90
38	Seca	0,0	4,4	8,6	7,4	0,87	6,9	0,81
39	Seca	0,0	5,5	10,7	8,1	0,76	8,3	0,77
40	Seca	0,0	7,0	13,7	11,9	0,87	11,8	0,86
41	Úmida	7,0	9,4	18,3	15,5	0,85	15,9	0,87
42	Seca	0,0	5,2	10,1	7,4	0,74	7,7	0,76
43	Seca	0,0	15,8	30,7	27,0	0,88	24,4	0,79

Apêndice D – Leituras realizadas nas coberturas com inclinação de 40%

Leitura	Tipo de cobertura				Romana		Cimento		Germânica	
	Condição	P (mm) (d-2)	P (mm)	Vp (L)	Vesc (L)	C	Vesc (L)	C	Vesc (L)	C
1	Seca	0,0	7,7	14,9	4,4	0,29	11,5	0,77	3,3	0,22
2	Seca	0,0	4,3	8,3	2,4	0,28	6,3	0,75	2,3	0,28
3	Seca	0,0	0,5	0,9	0,0	0,02	0,1	0,08	0,0	0,00
4	Seca	0,0	2,7	5,3	4,7	0,89	4,8	0,92	4,5	0,85
5	Seca	0,0	24,3	47,4	23,5	0,50	41,7	0,88	29,6	0,62
6	Úmida	24,3	30,2	58,8	34,8	0,59	47,4	0,81	40,4	0,69
7	Úmida	30,2	60,3	117,6	108,5	0,92	109,9	0,93	108,5	0,92
8	Seca	0,0	31,0	63,9	43,1	0,67	51,0	0,80	48,1	0,75
9	Seca	0,0	28,6	55,8	39,7	0,71	53,2	0,95	46,3	0,83
10	Úmida	28,6	6,0	11,7	9,6	0,82	9,4	0,80	8,6	0,74
11	Seca	0,0	9,2	17,9	14,2	0,79	16,4	0,91	14,5	0,81
12	Seca	0,0	14,9	29,0	26,0	0,90	27,5	0,95	26,0	0,90
13	Seca	0,0	15,7	30,6	11,8	0,38	25,2	0,82	25,8	0,84
14	Seca	0,0	10,7	20,9	9,8	0,47	18,6	0,89	13,7	0,65
16	Úmida	0,0	5,9	11,5	9,6	0,83	9,4	0,82	8,6	0,75
15	Seca	5,9	29,0	56,6	39,7	0,70	53,2	0,94	46,3	0,82
17	Seca	0,0	31,3	61,0	35,5	0,58	49,5	0,81	41,7	0,68
18	Úmida	31,3	2,5	4,9	3,5	0,73	4,2	0,86	3,9	0,80
19	Seca	2,2	29,0	56,6	51,0	0,90	52,3	0,92	50,8	0,90
20	Úmida	29,0	8,0	15,6	12,6	0,81	13,1	0,84	12,8	0,82
21	Úmida	8,0	3,0	5,9	2,9	0,49	4,2	0,71	2,8	0,47
22	Úmida	3,0	25,0	48,8	42,6	0,87	45,2	0,93	43,3	0,89
23	Úmida	25,0	23,8	46,4	42,7	0,92	43,7	0,94	42,8	0,92
24	Úmida	23,8	12,0	23,4	20,8	0,89	21,1	0,90	20,9	0,89
25	Seca	0,0	13,0	25,4	7,1	0,28	21,7	0,86	10,5	0,42
26	Seca	0,0	11,0	21,5	5,3	0,25	18,1	0,84	10,3	0,48
27	Seca	0,0	9,5	18,5	13,4	0,72	14,5	0,78	12,9	0,70
28	Seca	0,0	23,9	46,6	29,0	0,62	44,0	0,94	34,0	0,73
29	Seca	0,0	1,7	3,3	0,0	0,00	1,8	0,56	0,0	0,00
30	Seca	0,0	6,0	11,7	3,6	0,31	10,4	0,89	3,7	0,32
31	Úmida	6,0	15,9	31,0	15,4	0,50	27,5	0,89	18,7	0,60
32	Seca	0,0	7,6	14,8	3,7	0,25	11,3	0,76	4,5	0,30
33	Seca	0,0	23,0	44,9	26,3	0,59	40,3	0,90	29,9	0,67
34	Seca	0,0	19,0	37,1	35,3	0,95	36,4	0,98	34,7	0,94
35	Seca	0,0	11,0	21,5	9,2	0,43	18,7	0,87	8,7	0,41
36	Úmida	11,0	39,3	76,6	58,1	0,76	65,1	0,85	62,0	0,81
37	Seca	0,0	5,7	11,1	0,7	0,06	8,7	0,78	2,2	0,20
38	Seca	0,0	4,4	8,6	3,2	0,37	6,9	0,80	5,6	0,66
39	Seca	0,0	5,5	10,7	0,7	0,07	5,6	0,52	0,6	0,06
40	Seca	0,0	7,0	13,7	2,8	0,20	10,5	0,77	3,5	0,25
41	Úmida	7,0	9,4	18,3	6,3	0,34	14,4	0,78	11,4	0,62
42	Seca	0,0	5,2	10,1	1,5	0,15	6,6	0,66	1,8	0,18
43	Seca	0,0	15,8	30,7	14,7	0,48	26,4	0,86	16,2	0,53

Rodrigo Boeing Althof

Graduação em Engenharia Civil pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2002). Graduação em Geografia pelo Centro Universitário Internacional Uninter (2021). Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela FURB (2007); Gerente de Cidades pela FAAP (2009); e Gestão Pública pela FAMEESP (2021). Mestre em Engenharia Ambiental pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (2013). Atualmente é Engenheiro Civil junto ao Instituto Federal Catarinense – IFC.



EDITORA KREATIK