

SAMUEL GUIZELINE TRINDADE

**SUBSÍDIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA
URBANA DE RIO CLARO/SP**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de graduação em engenharia
ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas-
Unesp, campus Rio Claro, como parte das exigências para o
cumprimento da disciplina “Trabalho de Formatura no ano
letivo de 2009”*

Orientador: Prof.Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2009

SAMUEL GUIZELINE TRINDADE

ORIENTADOR: PROF. DR. RODRIGO BRAGA MORUZZI

**SUBSÍDIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA
URBANA DE RIO CLARO/SP**

Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de graduação em engenharia ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas-Unesp, campus Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina “Trabalho de Formatura no ano letivo de 2009”

Rio Claro (SP)

2009

628.092 Trindade, Samuel Guizeline

T833s Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro/SP / Samuel Guizeline Trindade. - Rio Claro/SP : [s.n.], 2009

59 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Engenharia ambiental. 2. Trincheiras de infiltração. 3. Escoamento superficial. 4. Métodos de dimensionamento. 5. Técnicas compensatórias. 6. Drenagem urbana. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais, Renato e Marcia, por me darem a vida e a oportunidade de estar em uma Universidade, concluindo um trabalho muito importante para a minha graduação e para o resto de minha existência. Esta conquista também é de vocês.

Agradeço a minha irmã, Maria Terra, pela alegria e a cumplicidade sempre.

Aos meus avós, Espedito e Lourdes, pelo apoio em todos os momentos,

A Paula, minha namorada, pela amizade, compreensão e dedicação em vários momentos em todo este tempo em que estamos juntos. Muito Obrigado!

Agradeço ao meu professor e orientador Rodrigo por me proporcionar conhecimentos e idéias ótimas nos meus anos de graduação, e ajuda no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado!

Aos amigos da turma de 2005 da engenharia ambiental, que durante os cinco anos de graduação compartilhei momentos inesquecíveis

Quero agradecer aos mestres Samuel, Naves, Marcus, Denis e ao técnico Alan por toda a experiência compartilhada, amizade, respeito e dedicação, não só a mim como aluno, mas com toda a universidade, vocês são um exemplo!

Enfim, sou grato a todos que já passaram em minha vida e que foram responsáveis por me tornar a pessoa que sou.

RESUMO

Este trabalho se propôs a estudar o tema "trincheiras de infiltração" em alguns de seus principais aspectos, tais como métodos de dimensionamento e parâmetros relacionados a estes, a fim de subsidiar a implantação dessas estruturas na área urbana de Rio Claro.

Para fins de dimensionamento foi utilizado o “*rain-envelope method*”, ou “método envelope de chuva”, por ser simples, de aplicação direta a partir de dados de caracterização do local de implantação e da curva IDF (intensidade-duração-frequência). O método baseia-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída do dispositivo. A curva de valores acumulados no tempo dos volumes afluentes ao dispositivo, que é construída com base nas vazões obtidas a partir na curva IDF local, é comparada com a curva de valores dos volumes dele efluentes determinados a partir das vazões obtidas nas características de infiltração do solo. A máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento. Foram adotadas cinco localidades dentro da área urbana de Rio Claro para implantação desses dispositivos, considerando o tipo de solo, condutividade hidráulica de cada área e tamanho do lote segundo o Plano Diretor de Rio Claro. Além disso, apresentou-se uma estimativa da redução de escoamento superficial em lotes urbanos com o uso de trincheiras de infiltração.

Palavras Chave: trincheiras de infiltração; escoamento superficial; método de dimensionamento

ABSTRACT

The purpose of this work is to study the theme “infiltration trenches” in some of its main aspects, such as sizing methods and parameters related to this, in order to subsidize the installation of these structures in the urban area of Rio Claro/SP.

For purposes of sizing, the “*rain-envelope method*” was used for its simplicity and direct application from the local characterization data and the IDF (intensity-duration-frequency) curve data. The method bases on the determination of the tributary volume of input and output device. The curve of values accumulated over time of the volumes tributaries to the device, which is built on the flow rates obtained from the local IDF curve, is compared with the value curve of his effluent volumes determined from the flow characteristics obtained from the infiltration soil. The maximum difference between the curves is the volume sizing. Five locations were chosen in the urban area of Rio Claro for implementation of these devices, considering the soil type, hydraulic conductivity of each area and lot size according to the Master Plan of Rio Claro. This work also presented an estimated reduction of the runoff in urban lots by using infiltration trenches.

Keywords: infiltration trenches; runoff; design method

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVO	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3.1	Histórico e atualidade da drenagem urbana.....	8
3.2	Urbanização e seus impactos na drenagem urbana.....	9
3.2.1	Impactos nas áreas ribeirinhas.....	10
3.2.2	Impactos devido à urbanização	11
3.3	Sistemas de Drenagem urbana.....	13
3.3.1	Sistemas clássicos.....	13
3.3.2	Sistemas alternativos	14
3.4	Trincheiras de infiltração	15
3.4.1	Planejamento	17
3.4.2	Parâmetros para dimensionamento.....	18
3.4.3	Dimensionamento de sistemas de infiltração	23
3.4.4	Métodos de Dimensionamento	26
3.4.5	Manutenção e operação das trincheiras	28
3.4.6	Monitoramento	28
3.5	Localização da Área de Estudo.....	30
4	METODOLOGIA	31
4.1	Ensaio em campo	32
4.1.1	Permealibilidade (Método Guelph)	32
4.2	Ensaio em Laboratório	33
4.2.1	Análise Granulométrica.....	33
4.2.2	Índices Físicos do solo.....	34
4.3	Critérios para seleção das áreas	34

4.4	Método de dimensionamento	37
4.5	Avaliação da redução do hidrograma de cheia de lotes urbanos proporcionada pela utilização de trincheiras de infiltração.....	38
4.5.1	Estimativa da vazão de escoamento superficial	38
4.5.2	Estimativa da redução no escoamento superficial com o uso de trincheiras:.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1	Condutividade hidráulica	40
5.2	Análise granulométrica	41
5.3	Dimensões das trincheiras	42
5.4	Estimativa da redução do escoamento superficial em lotes urbanos	49
5.4.1	Estimativa da vazão de escoamento superficial	49
5.4.2	Estimativa da redução no escoamento superficial com o uso de trincheiras.....	49
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	52
6.1	Seleção das áreas de implantação das trincheiras	52
6.2	Escolha do método de dimensionamento.....	52
6.3	Dimensionamento de trincheiras de infiltração	53
6.4	Redução do hidrograma de cheia em lotes urbanos, devida à utilização de trincheiras de infiltração.....	53
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	APÊNDICE A	57

1 INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, tanto no Brasil como em outros países, a drenagem urbana foi abordada de maneira acessória, dentro do contexto do parcelamento do solo para usos urbanos. As obras de drenagem urbana são exemplos práticos do comportamento tendencial, vistos na implantação de galerias e canais de concreto, tamponamento de córregos, retificação de traçados, aumento das declividades dos fundos dos canais, elevada taxa de impermeabilização do solo e demais intervenções convencionais de canalização (BAPTISTA, 2005).

O processo de urbanização da bacia hidrográfica modifica o comportamento das vazões de escoamento superficial, provocando aumento nos volumes de cheias dos rios. O transporte das águas pluviais para os cursos d'água acontece de forma tão rápida nas cidades, que os tempos de percurso dos diversos pontos da bacia são reduzidos e conseqüentemente ocorre uma antecipação dos picos de cheia nos hidrogramas de macrodrenagem. Estas alterações causam sobrecarga nos sistemas clássicos de drenagem urbana, os quais muitas vezes se tornam incapazes de veicular a vazão adicional, provocando aumento na frequência e na magnitude das inundações.

A partir dos anos 70 o conceito de “tecnologias alternativas” ou “compensatórias” começou a ser abordado, apresentando novas técnicas para complementar os sistemas clássicos de drenagem urbana. Essas tecnologias buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental. Neste contexto, os dispositivos alternativos de controle superficial da drenagem desempenham papel fundamental no que se refere a melhorias ecológicas no ciclo de água urbano.

Os sistemas alternativos permitem a manutenção do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos, ao contrário do remodelamento do sistema com tecnologias convencionais que traduz-se em custos elevados, por vezes proibitivos, para finanças públicas (LIMA, 2009).

Essas técnicas compensatórias ou alternativas ainda não foram incorporadas de forma efetiva nos centros urbanos. O presente estudo pretende acrescentar alternativas mediante a apresentação de tecnologias em sistemas de gerenciamento de drenagem urbana, focando nos dispositivos de controle na fonte, a fim de fornecer subsídios técnicos para a implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro/SP.

Existe uma importância muito grande em apresentar essas alternativas para a cidade de Rio Claro, visto a ineficiência do seu atual sistema de drenagem, que se traduz em inúmeras enchentes ao longo do ano, principalmente em época de chuvas.

Apresentam-se nos capítulos seguintes os objetivos do trabalho, uma revisão bibliográfica sobre o assunto, a metodologia utilizada e por fim uma interpretação dos resultados obtidos a partir do estudo.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar um conjunto de dados e informações que sirvam de subsídios para a implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro. Em termos específicos esse trabalho pretende:

- Selecionar as áreas de instalação das trincheiras;
- Escolher o modelo de dimensionamento;
- Dimensionar as trincheiras de infiltração;
- Apresentar uma estimativa da redução no hidrograma nos lotes urbanos proporcionada pelo uso de trincheiras de infiltração.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão abordados tópicos importantes em drenagem urbana, apresentando possíveis soluções para os problemas atuais, baseadas em técnicas alternativas.

3.1 Histórico e atualidade da drenagem urbana

Ao longo da história, a drenagem urbana desenvolveu-se com o único objetivo de promover o transporte hidráulico e economicamente eficaz de escoamento superficial de áreas urbanas para os cursos d'água próximos (SIEKER, F.1998). A partir da visão “higienista”, a drenagem urbana sempre foi associada à ocorrência das grandes epidemias, como tifo e cólera que assolaram a Europa no século XIX.

Para sintetizar esta idéia, Ward indicava, em 1852, conforme citado por Bertrand-Krajewski,(2000), a semelhança que deveria existir entre a circulação sanguínea e os sistemas urbanos de água, associando o sistema arterial ao abastecimento de águas “puras” e o sistema venoso à evacuação das águas residuais e pluviais. Ele preconizava, de forma enfática, a necessidade de evitar todas as formas de “estagnação pestencial” das águas, nocivas à “saúde urbana”.

A ocupação dos espaços próximos aos cursos d'água era feita de forma socialmente estratificada, sendo que as populações mais desfavorecidas ocupavam as áreas baixas, sujeitas às inundações, e além disso, recebiam as águas oriundas das partes mais elevadas das cidades, ocupadas preferencialmente pelas populações abastadas.

Foi a partir das zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira mar que a urbanização se intensificou, em face da necessária interação da população com os corpos hídricos, utilizados como fonte de alimento e dessedentação, além de via de transporte.

Segundo Canholi et al.(2005) modernamente as várzeas do rios passaram a ser incorporadas ao sistema viário por meio das denominadas “vias de fundo de vale”. Para tanto, inúmeros córregos foram retificados e canalizados a céu aberto ou encerrados em galerias, a fim de permitir a construção dessas vias marginais sobre antigos meandros.

De fato, até mesmo a bibliografia que se tinha disponível no Brasil sobre drenagem urbana, até poucos anos atrás, consistia, basicamente, de manuais de projeto de galerias, sarjetas, e bueiros.

Como o escoamento das águas é mais complexo no ambiente urbano que no rural, a hidrologia urbana tem evoluído como uma ramificação importante da hidrologia (ELLIS; MARSALEK, 1996), e cada vez mais há a necessidade de implantar tecnologias sustentáveis em drenagem urbana, por meio de sistemas mais eficientes que os atuais conjuntos de sarjetas, galerias e canais.

3.2 Urbanização e seus impactos na drenagem urbana

A urbanização implica, forçosamente, em alterações significativas no meio ambiente, de forma geral, e nos processos hidrológicos, em particular, através da ação direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas, como um todo (BAPTISTA, 2005).

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (DEP, 2005) as inundações em áreas urbanas ocorrem de duas formas, que podem ser isoladamente ou de forma integrada, conforme descrito a seguir:

- Em áreas ribeirinhas com a ocupação dos leitos dos rios. Os rios geralmente possuem dois leitos: o leito menor, onde a água escoar na maior parte do tempo; e o leito maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita à enchentes;
- Devido à urbanização: ocupação do solo, com conseqüente impermeabilização das superfícies e implementação de rede de drenagem, faz com que aumentem a

magnitude das inundações, bem como sua frequência. O desenvolvimento urbano pode também produzir barreiras ao escoamento como aterros, pontes, drenagens inadequadas, entupimentos em condutos e assoreamento;

A política na drenagem urbana, que prioriza a simples transferência de escoamento, e a falta de controle da ocupação das áreas ribeirinhas, têm produzido os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas (em até sete vezes, Leopold (1968)) devido à ampliação da capacidade de escoamento de condutos e canais para comportar os acréscimos de vazão gerados pela impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos;
- Deterioração da qualidade de água superficial e subterrânea devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido, contaminação de aquíferos e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- Danos materiais e humanos para a população que ocupa áreas ribeirinhas sujeitas às inundações;
- Impactos que ocorrem devido à forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada, podendo ser citadas: pontes e taludes que obstruem o escoamento, redução de seção do escoamento por aterros; disposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo e sedimentos; projetos e obras de drenagem inadequadas.

3.2.1 Impactos nas áreas ribeirinhas

As inundações ocorrem, principalmente, pelo processo natural, no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos (em média com tempo de retorno superior a dois anos). Este tipo de inundação ocorre normalmente em bacias grandes ($>500 \text{ km}^2$), sendo decorrência de processo natural do ciclo hidrológico. Os impactos sobre a população são causados principalmente pela ocupação inadequada do espaço urbano. Essas condições ocorrem, em geral, devido às seguintes ações:

- como no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, da quase totalidade das cidades brasileiras, não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas com risco de inundação, a sequência de anos sem inundações é razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas;
- invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;

- ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com frequência menor, mas que quando o são, provocam prejuízos significativos;

3.2.2 Impactos devido à urbanização

Com o desenvolvimento urbano, vários elementos antrópicos são introduzidos na bacia hidrográfica e passam a atuar sobre o ambiente. Alguns dos principais problemas são discutidos a seguir:

a) Aumento da Temperatura: As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar, aumentando a temperatura ambiente, produzindo *ilhas de calor* na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia que as superfícies naturais, e o concreto, à medida que a sua superfície envelhece, tende a escurecer e aumentar a absorção de radiação solar.

O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando o calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode criar de aumento de precipitação. Silveira (1997) mostra que a região central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência à urbanização. Como na área urbana as precipitações críticas mais intensas são as de baixa duração, esta condição contribui para agravar as enchentes urbanas.

b) Aumento de Sedimentos e Material Sólido: Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos na bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas.

As principais consequências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes:

- assoreamento das seções da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. A lagoa da Pampulha é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes;
- transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.

c) Qualidade da Água Pluvial: A qualidade da água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. A quantidade de material suspenso na drenagem

pluvial é superior à encontrada no esgoto *in natura*, sendo que esse volume é mais significativo no início das enchentes.

Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e cloacal separadas). No Brasil, a maioria das redes é do segundo tipo; sendo que somente em áreas antigas de algumas cidades ainda existem sistemas combinados. Atualmente, devido à falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do cloacal. Isso pode ser uma solução inadequada à medida que esse esgoto não é tratado, além de inviabilizar algumas soluções de controle quantitativo do pluvial.

A qualidade da água que escoar na rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência; da intensidade da precipitação, sua distribuição temporal e espacial; da época do ano; e do tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais.

d) Contaminação de aquíferos: As principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos ocorrem devido aos fatos a seguir mencionados:

- Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Portanto, deve-se evitar que sejam construídos aterros sanitários em áreas de recarga além de procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade. Os efeitos da contaminação nas águas subterrâneas devem ser examinados quando é realizada a escolha do local do aterro;
- Grande parte das cidades brasileiras utilizam fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse efluente tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de condutos de pluviais pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

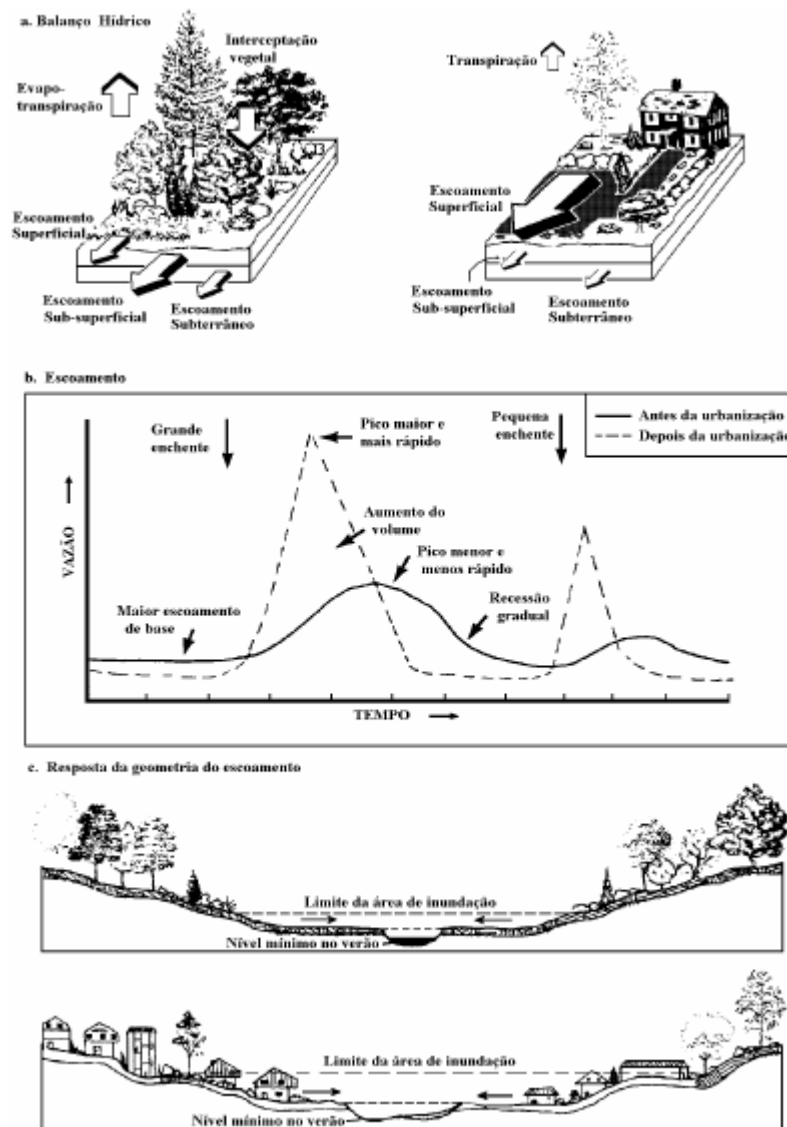


Figura 3.1 Características das alterações de uma área rural para urbana (SHUELER, 1987)

3.3 Sistemas de Drenagem urbana

3.3.1 Sistemas clássicos

Esses sistemas foram adotados de forma quase que sistêmica no Mundo Ocidental, sendo que o primeiro sistema de drenagem “moderno” foi construído em Hamburgo, na Alemanha, em 1843. No Brasil, foram adotados a partir da proclamação da República (SILVEIRA, 1998).

Os sistemas clássicos são constituídos, basicamente, de dispositivos de *micro-drenagem*, que efetuam o transporte das águas superficiais nas ruas (sarjetas), sua captação quando a capacidade de vazão é superada (bocas de lobo), e de condutos, usualmente enterrados, destinados ao transporte dessas águas até o deságüe ou até os sistemas de *macro-drenagem*, constituídos de canais abertos ou de condutos enterrados de porte significativo

(galerias). Em alguns casos são implementadas, ainda, obras complementares, como bueiros, dissipadores de energia e estações elevatórias de águas pluviais. (BAPTISTA., 2005).

Por muito tempo os sistemas clássicos foram desenvolvidos com o objetivo de remover de forma eficiente e economicamente eficaz as águas pluviais em excesso. Desta forma, os sistemas eram dimensionados para determinadas contribuições de águas, porém com a contínua introdução de superfícies impermeáveis através da urbanização há necessidade de ampliação das canalizações, aumento da declividade do fundo e retificações dos trechos dos rios.

Nascimento et al. (1997) afirmam que os sistemas clássicos tendem a amplificar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos, gerando como consequência a obsolescência das redes de drenagem, o aumento da frequência de inundações e a poluição dos corpos de água.

Desta forma levando em consideração as limitações dos sistemas clássicos na resolução de problemas de enchentes urbanas e o aumento da consciência ecológica advinda de conceitos ambientalistas, vêm sendo estudados e desenvolvidos sistemas alternativos que em conjunto com os sistemas clássicos buscam limitar as mudanças impostas pela urbanização a patamares hidrológicamente sustentáveis, ou minimizar os impactos destas mudanças, caso elas já estejam estabelecidas (GRACIOSA, 2005).

3.3.2 Sistemas alternativos

A partir da década de 1970 uma outra abordagem para tratar o problema de drenagem urbana foi sendo desenvolvida, sobretudo na Europa e na América do Norte. Nessa nova abordagem os sistemas alternativos de drenagem surgem para tratar o problema das enchentes urbanas.

Essas tecnologias são alternativas em relação às soluções clássicas porque consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo, buscando compensar, sistematicamente, os efeitos da urbanização. Esta compensação é efetuada pelo controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando-se sua transferência rápida para jusante. Desta forma, se mostram bem mais vantajosos que os sistemas clássicos, além disso, de acordo com Souza (2002), baseado em trabalho como Azzout et al.(1994), Nascimento et al.(1997) e Urbonas e Stahre(1993), permitem:

- Controlar o escoamento superficial sem restringir o processo de urbanização, já que os sistemas alternativos podem ser implantados à medida que a urbanização progride;

- Diminuir o risco de inundação
- Baixos custos de implantação
- Boa integração com o espaço e possibilidade de valorização da água no meio urbano, adicionando valor estético à cidade;

Estes mesmos autores citam também algumas desvantagens na aplicação destes sistemas, podendo ser citadas:

- Preocupação com manutenção freqüente, a fim de se evitar a perda de desempenho da vida útil;
- Risco de contaminação do solo e aquífero; e
- Falta de padrão de projetos e escassez de informações do seu funcionamento a longo prazo.

Dessa forma, o emprego destas tecnologias compensatórias em drenagem urbana possibilita a continuidade do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos, permitindo a modulação do sistema de drenagem em função do crescimento urbano e o tratamento combinado das questões de drenagem pluvial com outras questões urbanísticas (BAPTISTA, 2005).

3.4 Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração são técnicas compensatórias lineares, implantadas junto à superfície ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, favorecendo a infiltração e/ou o armazenamento temporário.

De acordo com Mikkelsen et al. (1996), esses dispositivos são tipicamente de formato alongado e estreito, reduzindo a área de exposição que é supostamente obstruída por partículas finas após algum tempo de operação do sistema, aumentando ao mesmo tempo a relação entre a área efetiva de infiltração composta pelas paredes laterais e o volume de armazenamento.

As trincheiras funcionam como reservatórios de amortecimento de cheias, proporcionando a redução dos volumes e das vazões máximas (SOUZA, 2002). Do ponto de vista essencialmente hidrológico, a infiltração das águas pluviais possibilita que o volume de escoamento superficial seja reduzido, aliviando o sistema de drenagem a jusante. Dessa mesma forma, a detenção temporária das águas provoca o rearranjo temporal dos hidrogramas, favorecendo também as condições a jusante (BAPTISTA, 2005).

Nascimento (1996), traz algumas vantagens da utilização de trincheiras de infiltração:

- Ganho financeiro, com a redução das dimensões do sistema de drenagem a jusante, ou mesmo sua completa eliminação;
- Ganho paisagístico com a possibilidade de valorização do espaço urbano, ressaltando-se a pequena demanda por espaço desse tipo de estrutura;
- Ganho ambiental, com a possibilidade de recarga do lençol freático e melhoria da qualidade das águas de origem pluvial.

De acordo com Urbonas e Stahre (1993), a aplicabilidade deste dispositivo depende de vários fatores e a escolha do local de implantação deve seguir alguns critérios, como:

- A profundidade mínima (em relação a fundo da trincheira) sazonal do lençol freático e da camada impermeável deve estar a no mínimo 1,20 metros de profundidade;
- O solo deve estar classificado como tipo A ou B do Soil Conservation Service ou a taxa de infiltração do solo saturado deve ser superior a 8 mm/h;
- Não devem ser instaladas em aterros ou terrenos com grande declividade;
- São indicadas para pequenas áreas de drenagem em lotes ou quarteirões;
- O projeto não pode se situar dentro de uma zona de infiltração regulamentada, como uma área de proteção de uma zona de captação de água potável, por exemplo.

As trincheiras de acordo com Baptista et al.(2005), são bastante versáteis, podendo ser implantadas em canteiros centrais e passeios, estacionamentos, jardins, terrenos esportivos, áreas verdes, ou ainda ao longo do sistema viário (Figura 3.2).

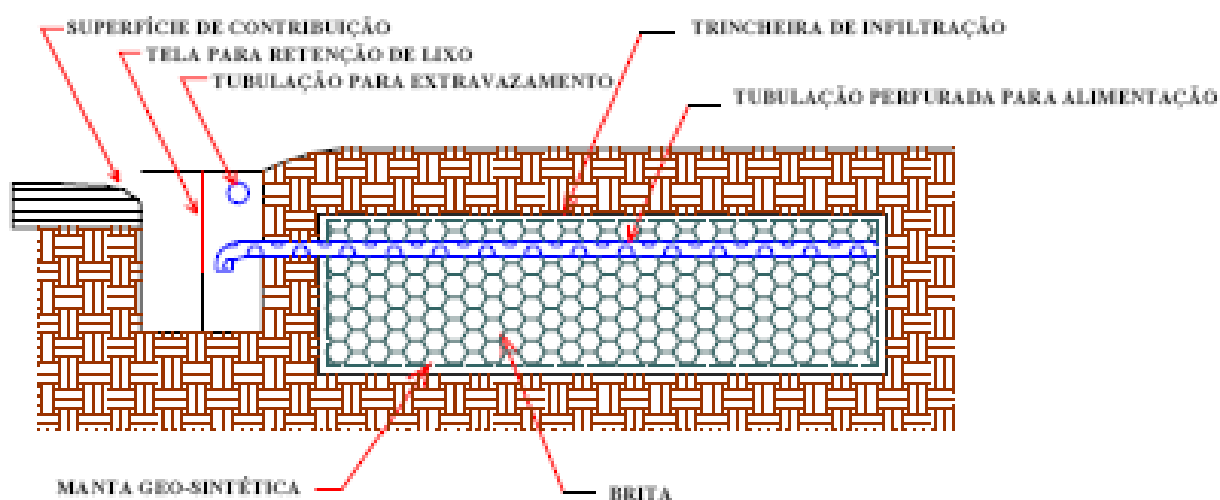


Figura 3.2- Exemplo de modelo de trincheira de infiltração. Fonte: Lawrence et al. 1996, modificado



Figura 3.3 Ensaios experimentais de trincheiras de infiltração (LIMA, 2009)

3.4.1 Planejamento

Fujita (1997) enumera algumas observações pertinentes à implementação de sistemas de infiltração em uma bacia hidrográfica:

- Avaliação quantitativa dos benefícios. A eficiência desta etapa depende fundamentalmente da quantidade e qualidade de informações disponíveis e das ferramentas de que se dispõe para manipulá-las e analisá-las.
- Planejamento da manutenção das estruturas, seja preventiva ou corretiva;
- Programas de incentivo à cooperação da população, por meio de auxílio no projeto das estruturas residenciais, leis de incentivo tributário, trabalhos de divulgação e educação;
- Disponibilização de informações sobre experiências em outros países;
- Incentivo à fabricação de equipamentos, produtos e peças hidráulicas apropriadas à implantação de estruturas de infiltração, em escala industrial, com padronização comercial;
- Construção de modelos físicos que permitam a visualização e o estudo detalhado do funcionamento das estruturas;
- Normatização de técnicas construtivas e elaboração de manuais de projeto;
- Inclusão dos projetos de infiltração no planejamento urbano;
- Avaliar os riscos de falha das estruturas por colmatção, bem como os riscos de contaminação do solo e do aquífero.

Analizados os critérios acima descritos, a próxima etapa é de caracterização das propriedades do solo através de ensaios *in situ*, os quais fornecem informações necessárias ao dimensionamento, devendo ser efetuados nas profundidades em que a trincheira será implantada. Além disso, são necessários ensaios de infiltração, sendo que estes são

fundamentais para a escolha do local a ser implantado um sistema de infiltração. Abaixo segue fluxograma de um projeto de drenagem urbana proposto pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre em seu manual de drenagem (2005), contendo seus principais componentes.

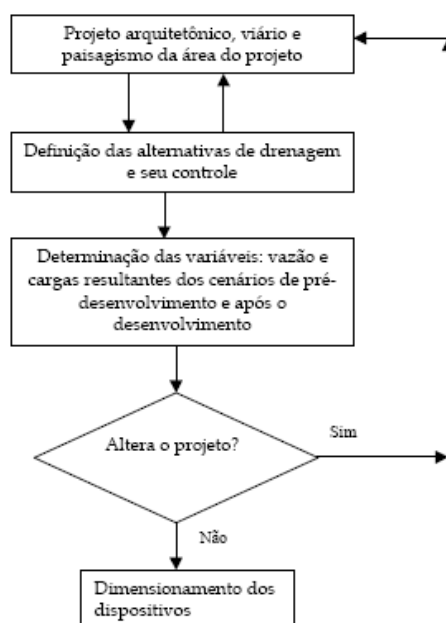


Figura 3.4 Seqüência para desenvolvimento do projeto (DEP-Porto Alegre, 2005)

3.4.2 Parâmetros para dimensionamento

Após ser averiguado que o local escolhido é propício para a instalação do dispositivo de infiltração, a fase seguinte a ser considerada é a determinação dos parâmetros e posterior dimensionamento da trincheira.

3.4.2.1 Parâmetros relativos às propriedades físicas e hidráulicas do solo

Para o dimensionamento os parâmetros considerados são a taxa de infiltração, a condutividade hidráulica saturada e a porosidade efetiva (razão entre o volume de água que pode ser drenada do solo saturado por ação da gravidade somente e o volume total). É difícil generalizar os valores, principalmente os de condutividade hidráulica, por isso é fundamental realizar testes de campo, utilizando os menores valores medidos para o projeto, como fator de segurança para o projeto (DEP-Porto Alegre, 2005).

Para a instalação de estruturas em áreas menores a 1000 m², podem ser utilizados os valores de taxas de infiltração, de acordo com a classificação do *Soil Conservation Service* (SCS) apresentada na Tabela 3.1; para áreas superiores a esta, deve ser realizado um teste de infiltração no local. Para fins de dimensionamento de estruturas de infiltração ou percolação,

deve-se utilizar a taxa de infiltração correspondente ao valor de I_b , que corresponde ao estado em que o solo atingiu a saturação.

Tabela 3.1 Alguns valores típicos de taxas de infiltração (DEP-Porto Alegre, 2005)

Tipo de Solo	Taxa de infiltração (mm/h)	
	I_o	I_b
A	254,0	25,4
B	203,2	12,7
C	127,0	6,35
D	76,2	2,54

Segundo a classificação do SCS (SCS, 1957) os tipos de solo mencionados na tabela 3.1 são classificados da seguinte forma:

- Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
- Solo B: solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
- Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Na Tabela 3.2 estão apresentados valores típicos de condutividade hidráulica.

Tabela 3.2 Condutividade hidráulica saturada em diversos tipos de solo (Urbonas e Stahre, 1993)

Tipo de Solo	Condutividade Hidráulica(m/s)
Cascalho	10^{-3} - 10^{-1}
Areia	10^{-5} - 10^{-2}
Silte	10^{-9} - 10^{-5}
Argila (saturada)	$< 10^{-9}$
Solo Cultivado	10^{-10} - 10^{-6}

3.4.2.2 Granulometria da camada superficial de solo

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 6502/95) – Terminologia – Rochas e Solos define como:

Pedregulho – Solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro: pedregulho fino (2,0 a 6,0 mm), pedregulho médio (6,0 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: areia fina (0,06 mm a 0,2 mm, areia média (0,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm).

Silte – solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm a 0,06 mm.

Argila – Solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm. Apresentam características marcantes de plasticidade; quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco, apresenta coesão suficiente para construir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos. Caracteriza-se pela sua plasticidade, textura e consistência em seu estado e umidade naturais.

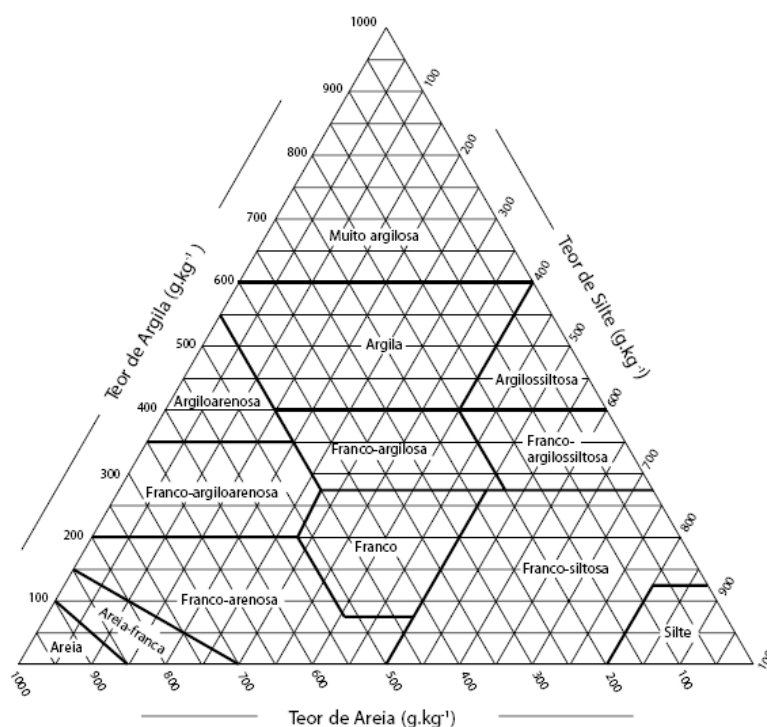


Figura 3.5 Classificação trilinear dos solos (Adaptado de Lemos e Santos, 1996)

Outro parâmetro importante a ser considerado é o material de preenchimento da trincheira. A trincheira é preenchida de material poroso a fim de assegurar o armazenamento das águas recolhida. Utiliza-se principalmente brita e pedra de mão, com porosidade superior a 30% (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

3.4.2.3 Período de retorno

Este parâmetro traduz a extensão do efeito das chuvas em termos de frequência de ocorrência. É sempre conveniente simular o funcionamento do sistema de drenagem para eventos de maiores intensidade e o volume em relação ao evento de projeto a fim de avaliar, da melhor forma possível, os impactos dos eventos excepcionais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Tabela 3.3 Tempos de retorno para diferentes ocupações (DAEE/CETESB, 1980)

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Tempo de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-100
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

3.4.2.4 Qualidade das águas a serem infiltradas, devido ao risco de contaminação do aquífero e do solo

A qualidade da água pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e quantidade de metais (TUCCI, 2005).

A Tabela 3.4 apresenta os diversos tipos de poluição relacionados à qualidade das reservas hídricas.

Tabela 3.4 Problemas relacionados à qualidade das reservas hídricas (FOSTER;LAWRENCE;MORRIS, 1998)

Problema	Causa	Consequência
Poluição Antropogênica	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis a dejetos produzidos pelo homem e a lixiviação originada; pelas atividades urbanas e industriais; pela intensificação do cultivo agrícola.	Presença nestes corpos de agentes patogênicos, nitratos, sais de amônia, clorina, sulfatos, boro, metais pesados, carbono orgânico dissolvido (COD), aromáticos e hidrocarbonetos halogenados.
Contaminação dos mananciais	Concentração e construção inadequada de poços, o que permite o acesso direto de água poluída oriunda da superfície e de lençóis freáticos não profundos.	Presença nestes corpos, principalmente, de agentes patogênicos.

3.4.2.5 Teor de sólidos suspensos na água

Este parâmetro está intimamente ligado à vida útil do dispositivo de infiltração. Quanto maior for o teor de sólidos suspensos na água que percola esses dispositivos mais colmatada serão estes. A colmatagem é um processo causado pela deposição de partículas finas nos vazios do meio poroso. As partículas maiores acumulam-se na superfície ou nos primeiros centímetros das camadas superficiais; as partículas mais finas penetram mais profundamente no solo. Este processo pode estimular o desenvolvimento de algas e bactérias, conduzindo a uma diminuição da condutividade hidráulica do solo e, conseqüentemente, a uma diminuição da capacidade de infiltração dos dispositivos.

3.4.2.6 Material de Preenchimento

O cálculo do volume da estrutura de infiltração (percolação) é feito considerando-se a porosidade efetiva do material de enchimento. Sendo assim, o volume útil para armazenamento será referente aos vazios da trincheira. Na Tabela 3.5 estão apresentados valores típicos de porosidade para alguns materiais de enchimento.

Tabela 3.5.– Porosidade efetiva de materiais de enchimento (Urbonas e Stahre, 1993).

Material	Porosidade Efetiva
Brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada (menores que ¼")	30
Areia	25

3.4.2.7 Coeficiente de Escoamento Superficial

O Coeficiente de escoamento superficial é função de uma série de fatores, entre os quais o tipo de solo, a ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade de chuva. A adoção, portanto, de um valor constante para o coeficiente, é hipótese pouco realista e deve ser feita com cautela. Geralmente o coeficiente de escoamento é determinado em função da superfície ou da ocupação do solo, conforme as Tabela 3.6. Segundo Urbonas e Stahre (1993) para o dimensionamento das trincheiras pode-se considerar que apenas as áreas impermeáveis contribuirão para a estrutura.

Tabela 3.6 Coeficientes de Escoamento Superficial (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD,2005)

Descrição da área de drenagem		Valores típicos de C
Residenciais	Unifamiliares	0,30-0,50
	Edifícios com área verde contígua	0,60-0,75
	Áreas residenciais com ocupação densa	0,70-0,95
	Áreas residenciais suburbanas	0,25-0,40
Áreas comerciais densamente ocupadas		0,80-0,95
Industriais	Densas	0,60-0,90
	Pouco Densas	0,50-0,80
Vias asfaltadas ou concretadas		0,70-0,95
Vias com calçamento tipo paralelepípedo		0,70-0,85
Áreas de estacionamento pavimentadas		0,80-0,95
Áreas verdes e parques		0,10-0,25
Cemitérios		0,10-0,80
Áreas desocupadas		0,10-0,60

3.4.3 Dimensionamento de sistemas de infiltração

Um método clássico que promove um balanço hídrico simplificado para dimensionamento de estruturas com armazenamento é o método envelope de chuva, tradicionalmente usado no dimensionamento expedito de bacias de detenção

(DAEE/CETESB, 1980). Tal método é recomendado para o dimensionamento das estruturas de percolação quando os critérios para utilização de dispositivos de infiltração são atendidos.

O método baseia-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída do dispositivo. A curva de valores acumulados, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo que é obtida com base nas vazões obtidas a partir da curva IDF local, é comparada com a curva de valores dos volumes de efluentes determinados a partir das vazões obtidas nas características de infiltração do solo. A máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento.

Para a utilização dos dados de precipitações pluviais para finalidades hidrológicas, é necessário o estabelecimento de uma relação analítica entre a intensidade, a duração e a frequência das chuvas intensas. Obtém-se assim, uma equação intensidade-duração-frequência (IDF) da região para um determinado período de retorno (T), expressão geral análoga a de Talbot (Azzout et al, 1994), dita equação de chuva que permitirá uma solução explícita da intensidade de chuva, conforme a (Eq 3.1).

$$i = \frac{a.T^b}{t+c} \quad \text{Eq 3.1}$$

Onde:

i = Intensidade da chuva em mm/h

T = período de retorno em anos

t = duração de chuva em minutos

a, b, c = parâmetros da equação.

Morruzi e Oliveira (2009) obtiveram a equação da curva IDF para o município de Rio Claro (Eq 3.2):

$$I = \frac{560,9.T^{0,141}}{(7,4+d)^{0,65}} \quad \text{Eq 3.2}$$

3.4.3.1 Volume afluente à trincheira

O Método Racional é um procedimento de cálculo que determina a vazão de pico de escoamento, podendo ser utilizado em estruturas de infiltração (percolação) por serem usadas, principalmente, para pequenas bacias. Desta forma, determina-se o volume afluente acumulado pela multiplicação da vazão pelo tempo (Eq 3.3):

$$V_T(t) = 3600.C.\frac{I_T}{1000}.t.A \quad \text{Eq 3.3}$$

Onde:

V_T = volume total escoado no tempo t para uma precipitação de T anos de retorno (m^3)

C = coeficiente de escoamento

I_T = intensidade da precipitação de T anos de retorno ($l/s/ha$)

t = duração da precipitação (h)

A = Área da bacia de contribuição (ha)

Sjoberg e Martensson (apud Urbonas e Stahre, 1993) concluíram, a partir de um estudo onde obtiveram resultados distintos de uma comparação entre o escoamento de blocos únicos de precipitação e os resultados obtidos usando simulação contínua, que o volume calculado pelo método racional com um acréscimo em torno de 25% pode ser mais preciso vendo que representam melhor o processo natural. Logo a Eq.3.3. é alterada para a Eq.3.4

$$V_T(t) = 1,25[3600.C.\frac{I_T}{1000}.t.A] \quad \text{Eq 3.4}$$

3.4.3.2 Volume de saída da trincheira

A Lei de Darcy é usada para estimar a taxa de água percolada. Considerando-se o tempo de enchimento e esvaziamento da estrutura, pode-se aproximar a taxa média de saída de água como a média entre as vazões de saída para o enchimento e o esvaziamento da estrutura. Simplificando esta média, pode-se considerar o nível d'água constante na altura média da estrutura. Para o solo saturado (situação crítica para o funcionamento do dispositivo), obtém-se um gradiente hidráulico unitário e a Lei de Darcy resulta na seguinte expressão para a determinação da vazão de saída da estrutura (Eq 3.5) (URBONAS e STAHERE, 1993):

$$V_{perc}(t) = k.\nabla\varphi.\frac{A_{perc}}{2}.3600.t_p \quad \text{Eq 3.5}$$

Onde:

$V_{perc}(t)$ = volume de água percolado no solo (m^3);

k = condutividade hidráulica saturada do solo (m/s);

A_{perc} = área total dos lados da estrutura de percolação (m^2);

t_p = tempo de percolação (h);

$$\nabla\varphi = \text{gradiente hidráulico} = 1,0$$

3.4.4 Métodos de Dimensionamento

Os métodos utilizados para o dimensionamento das estruturas de armazenamento ou infiltração diferem uns dos outros em função de seus objetivos e complexidade (BAPTISTA, 2005). Normalmente se subdividem em duas famílias: os métodos simplificados, abrangendo o *método dos volumes* e o *método das chuvas*, e os métodos fundados em conceituais, como o *método PULS*. Na tabela 3.7 estão apresentadas as características gerais destes métodos.

Tabela 3.7 Condições de utilização, vantagens e inconvenientes dos métodos (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2005)

Método	Tipo de resultado fornecido condição de utilização privilegiada	Hipóteses/dados necessários	Vantagens/Limites
Método das chuvas	Fornece: Um volume máximo de armazenamento Uma estimativa dos tempos de descarga e de funcionamento Dimensionamento de estruturas individuais ou a associação de estruturas	Vazão de saída constante Coeficiente de contribuição constante Transferência instantânea da chuva à obra de retenção Necessita curvas IDF/PDF relativa a longos períodos	Facilidade de utilização (método manual) Geralmente subestima volumes em relação ao método dos volumes para mesma série de medidas
Método dos volumes	Fornece: Um volume máximo de armazenamento Uma estimativa no tempo de descarga Permite: Dimensionamento de estruturas individuais	Vazão de saída constante Coeficiente de contribuição constante Transferência instantânea da chuva à obra de retenção Necessita de dados pluviométricos de longa duração	Facilidade de utilização (método manual) Fornece: Volumes mais corretos que o método das chuvas para mesma série de medidas Difícilmente utilizável para associação de estruturas
Método Puls	Fornece: Um ou vários hidrogramas de saída A evolução dos volumes e alturas de água nas estruturas Um volume máximo de armazenamento e um tempo de descarga, se necessário Permite: Planejamento Diagnóstico de um estado existente Dimensionamento de estruturas individuais e associação de estruturas	Vazões de saída variáveis Necessita do acoplamento com modelos hidrológicos ou hidrogramas de entrada Necessita chuvas de projeto ou chuvas históricas	Adaptado a uma grande gama de problemas Permite a simulação da dinâmica de enchimento das estruturas e do funcionamento das bacias controladas Dificuldades para a modelagem de estruturas não controladas por dispositivos específicos (infiltração, por exemplo) Dificuldades para a escolha da chuva de projeto representativa

IDF: Intensidade-Duração-Frequência/ PDF: Precipitação-Duração-Frequência

3.4.5 Manutenção e operação das trincheiras

A manutenção das trincheiras deve ser efetuada regularmente de forma a prevenir quaisquer problemas de funcionamento hidráulico, sendo estes ligados, principalmente, à colmatção. (BAPTISTA, 2005). Normalmente, a manutenção é feita segundo dois tipos de operação: a manutenção preventiva e a manutenção corretiva.

A manutenção preventiva tem como objetivo reduzir os processos de colmatção e por isso dever ser feita regularmente. As ações de manutenção consistem basicamente de limpeza dos poços, dos filtros, dos órgãos de descarga e a conservação das áreas verdes. A manutenção corretiva é realizada quando existe um funcionamento hidráulico inadequado das trincheiras, como por exemplo, impossibilidade de injeção da água pela superfície e transbordamentos freqüentes. Essa manutenção é feita por meio da limpeza ou substituição dos materiais da superfície e da trincheira.

3.4.6 Monitoramento

O monitoramento do nível d'água e da umidade nas trincheiras de infiltração é essencial para que se avalie sua eficiência no controle do escoamento superficial.

A seguir são apresentados alguns equipamentos para o monitoramento das trincheiras de infiltração.

3.4.6.1 *Tensiômetros*

Estes equipamentos consistem, basicamente, de uma cápsula porosa fixada à extremidade de um tubo preenchido com água. No extremo oposto, o tubo é conectado a uma cuba contendo mercúrio. O tubo é enterrado no solo, à profundidade em que se deseja fazer a medição do potencial mátrico. Deve ser feito um umedecimento prévio do solo, de maneira que este esteja saturado no momento da instalação do tensiômetro. O contato entre a cápsula e o solo é fundamental para que, através dos poros da cápsula, a água do tensiômetro entre em contato hidráulico e se equilibre com a água no solo. Dessa forma o funcionamento deste equipamento depende do teor de umidade do solo. Colocando-se uma régua ligada à coluna, mede-se o deslocamento de mercúrio.

3.4.6.2 *Reflectometria no domínio do tempo (TDR)*

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem sido usada como método indireto para a determinação da umidade do solo. O funcionamento desta técnica está baseado na medida da velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em uma guia de onda metálica inserida no solo. O equipamento fornece a constante dielétrica aparente do solo (K_a)

por meio da equação: $Ka=(t \times c/2L)^2$, onde t (s) é o tempo de trânsito da onda na haste, L (cm) é o comprimento da sonda metálica e c (cm.s⁻¹) é a velocidade da luz. Para esta técnica observa-se que quanto maior o conteúdo de água do solo, maior será a sua constante dielétrica aparente, e maior será o tempo de deslocamento do pulso aplicado. No entanto, os solos altamente intemperizados, contendo altos teores de óxido de ferro, minerais magnéticos e matéria orgânica podem influenciar na resposta da TDR (VAZ, 2003).

A técnica do TDR pode ser utilizada ainda em aplicações para o desenvolvimento de métodos para determinação da condutividade hidráulica do solo (MELO FILHO, 2003). Devido à facilidade na obtenção de medidas não destrutivas e não apresentar riscos para o ser humano e o ambiente, o TDR tem sido bastante utilizado para quantificar o conteúdo de água do solo. Embora apresente desvantagens, como o alto custo, a complexa calibração e a existência de alguns erros inerentes à própria técnica (TOMMASELLI, 1997).

3.4.6.3 Sonda de nêutrons

Este equipamento consiste de uma fonte radioativa, um detetor, um circuito eletrônico para amplificação dos sinais conectado a um mostrador digital e um tubo de acesso instalado no solo.

Para a medição da umidade, o equipamento é posicionado sobre o tubo instalado verticalmente no solo, no interior do qual insere-se a sonda até a profundidade desejada, por meio de um cabo que faz a interligação entre a fonte radioativa e os componentes eletrônicos.

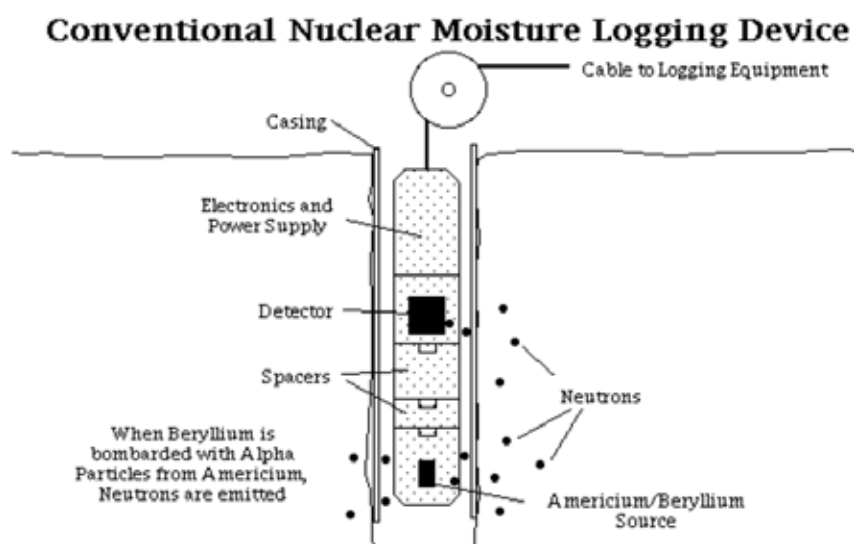


Figura.3.6 Esquema de funcionamento da sonda de nêutrons

3.5 Localização da Área de Estudo

Situado no setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista – zona do Médio-Tietê, o sítio urbano do município de Rio Claro, em sua maioria, localiza-se no interflúvio entre o rio Corumbataí e Ribeirão Claro. Sua expansão, inicialmente, realizou-se de forma longitudinal, já que os vales destes rios, a leste e oeste da área urbana, além da Floresta Estadual “Edmundo Navarro de Andrade”, atuaram, em um primeiro momento, como barreira física a esta expansão.

Contudo, verifica-se, atualmente, que os terrenos ocupados pela área urbana atingem altitudes de 625 metros no setor norte, pertencente à área de interflúvio Corumbataí-Ribeirão Claro, e 540 metros já no fundo do vale do rio Corumbataí. Assim, neste relevo é possível encontrar elementos que se definem e se individualizam, por suas formas e processos, evidentes através da paisagem natural e da ocupação antrópica.

De maneira geral, destaca-se o interflúvio sub-tabuliforme entre o rio Corumbataí e Ribeirão Claro, com altitudes de 600-630 metros, capeados por sedimentos arenosos. As bordas deste interflúvio caracterizam-se como colinas suavemente convexas, que se desdobram em patamares escalonados até a várzea dos dois rios. Nos fundos dos vales ocorrem depósitos móveis, identificados como antigos assoalhos aluviais, e a planície aluvial atual.

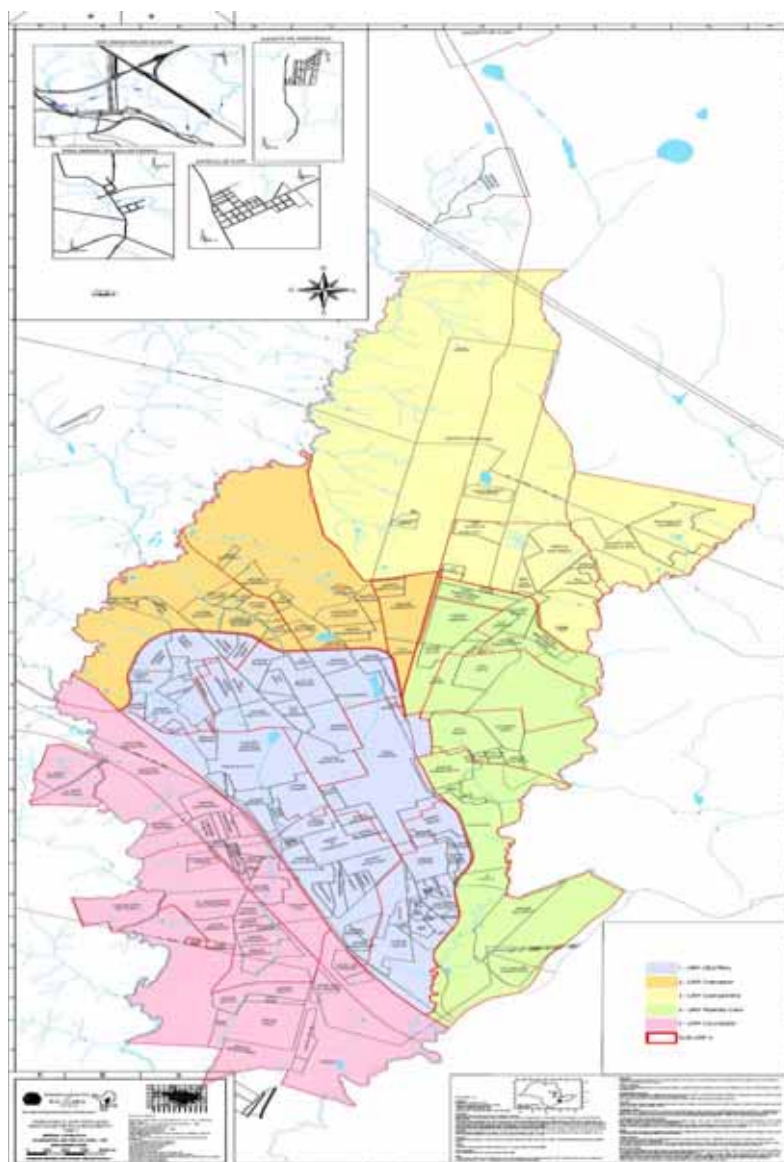


Figura 3.7 Localização da Área urbana de Rio Claro (PLANO DIRETOR DE RIO CLARO, 2008)

4 METODOLOGIA

A revisão bibliográfica evidenciou que a redução das cheias urbanas envolve medidas alternativas para o controle do escoamento superficial na fonte, e que elas podem funcionar por meio da infiltração ou retenção das águas de chuva. Neste trabalho estudou-se a viabilidade das trincheiras de infiltração como elementos de controle do escoamento superficial na origem, ou seja, nos lotes urbanos onde é gerado.

A sequência de atividades adotada foi a seguinte:

- Seleção das localidades na área urbana de Rio Claro para a implantação de trincheiras de infiltração;

- Ensaios de campo e de laboratório para a caracterização do solo;
- Escolha do método de dimensionamento;
- Simulação de dimensionamento para os solos estudados;
- Avaliação da redução do hidrograma de cheia em lotes urbanos proporcionada pela utilização de trincheiras de infiltração.

4.1 Ensaios em campo

4.1.1 Permealibilidade (Método Guelph)

O permeâmetro *Guelph*, modelo 2800, foi utilizado na determinação expedita *in situ* da condutividade hidráulica dos pontos escolhidos para implantação das trincheiras. Este aparelho foi desenvolvido por Reynolds e Elrick em 1983, sendo aperfeiçoado pelos mesmos autores na Universidade de *Guelph*, no Canadá, em 1985 (SOTO, 1999). O equipamento consiste em um permeâmetro de carga constante, que funciona segundo o Princípio do Sifão de Mariotte. Este princípio permite escoamento a velocidade constante (com a diminuição do nível d'água no aparelho), por meio do equilíbrio entre a pressão externa (pressão atmosférica) e a interna do permeâmetro. O permeâmetro é constituído basicamente por: tubo de ar, indicador do nível de água a ser mantido no furo (H), tubo e reservatório interno com escala graduada, reservatório externo, suporte, válvula do reservatório e ponteira (Figura 13).

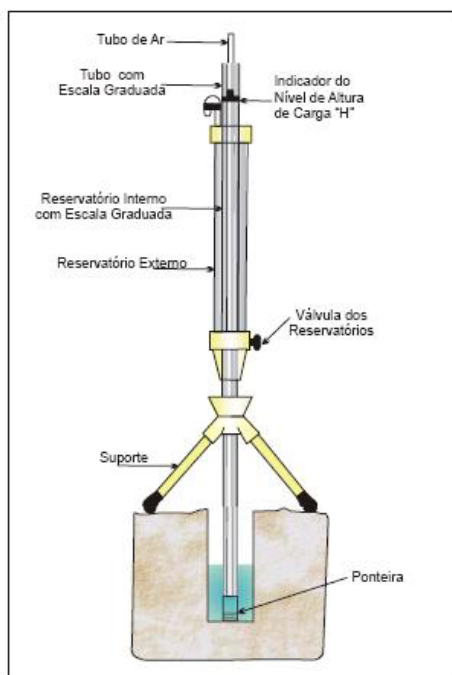


Figura 4.1 Desenho esquemático do permeâmetro de *Guelph* (OLIVA, 2006)

O procedimento do ensaio requer, após seleção dos locais a serem analisados, a realização de furos a trado com fundo horizontal plano. Quando se estabelece um nível d'água (carga hidráulica) constante no interior do furo de trado, origina-se um "bulbo" de saturação d'água a partir de sua base. O volume d'água, que se infiltra no solo por unidade de tempo (taxa de infiltração), torna - se constante após determinado tempo de estabilização. As características e dimensões deste "bulbo" de saturação d'água, uma vez atingida a condição de estabilidade, variam com as características do solo ensaiado.

O conhecimento do valor da taxa de infiltração, associado às dimensões do furo e da altura da coluna d'água no seu interior, permite o cálculo da condutividade hidráulica *in situ*, através da seguinte expressão, segundo Soil Moisture Corp(1991):

$$K = [(0,0041) (X) (R_2) - (0,0054) (X) (R_1)]$$

Ou

$$K = [(0,0041) (Y) (R_2) - (0,0054) (Y) (R_1)]$$

Onde:

K - condutividade hidráulica, em cm/s;

R₁; R₂ - taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H₁ e H₂ respectivamente, em cm/s;

X; Y - constantes correspondentes à área do tubo (reservatório d' água) utilizado, em cm² ;

0,0041 e 0,0054 - valores adimensionais que podem ser obtidos através da equação 4.1:

Este ensaio foi realizado somente em um ponto da área de estudo, localizado na área do campus da Unesp Rio Claro. Para os demais pontos escolhidos, foram utilizados os resultados dos ensaios do trabalho de Oliva (2006), o qual determinou a permeabilidade da zona não saturada da formação Rio Claro.

4.2 Ensaios em Laboratório

4.2.1 Análise Granulométrica

Para este solo foi realizada uma análise granulométrica, conforme Norma NBR-6502. O procedimento de ensaio consistiu em submeter amostras representativas das áreas de estudo, a um processo peneiramento, em uma seqüência de peneiras de aberturas conhecidas e decrescentes, normalizadas pela NBR-5734/80. O tempo de peneiramento e a freqüência de vibração do agitador mecânico de peneiras são normalizados pela NBR-6502. O

acompanhamento do processo consistiu em anotar a massa de amostra retida em cada peneira, obtendo-se a porcentagem da amostra que passa pela peneira. Com objetivo de visualizar os dados do ensaio, plotou-se um gráfico da porcentagem que passa *versus* diâmetro dos grãos (ou abertura da peneira). Este procedimento foi feito a partir da norma NBR 5734/80. A curva de granulometria do solo está representado no capítulo de resultados na figura 5.1, assim como a tabela 5.1, com o resumo da classificação granulométrica de ambos os solos.

4.2.2 Índices Físicos do solo

Os índices físicos do solo foram calculados a partir de 3 anéis(amostras). Os índices necessários para o trabalho são: porosidade, índice de vazios e grau de saturação. Estes valores foram determinados, respectivamente, pela Equação 4.3 Equação 4.4 e Equação 4.5:

$$\eta = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad \text{Eq 4.3}$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad \text{Eq 4.4}$$

$$Sr = \frac{\rho_s \cdot w}{e} \quad \text{Eq 4.5}$$

em que n é a porosidade do solo, adimensional; ρ_s é a massa específica dos sólidos, g.cm⁻³; ρ_d é a massa específica do solo seco, g.cm⁻³; w é a umidade do solo, adimensional; e é o índice de vazios, adimensional; e Sr é o grau de saturação, adimensional.

4.3 Critérios para seleção das áreas

Para seleção das áreas onde estudou-se implantar as trincheiras de infiltração, foi considerado o tipo de solo de cada uma delas e as características hidráulicas destes solos. No município de Rio Claro ocorrem os seguintes tipos de solo: Argissolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho em associação com Nitossolos e Neossolos.

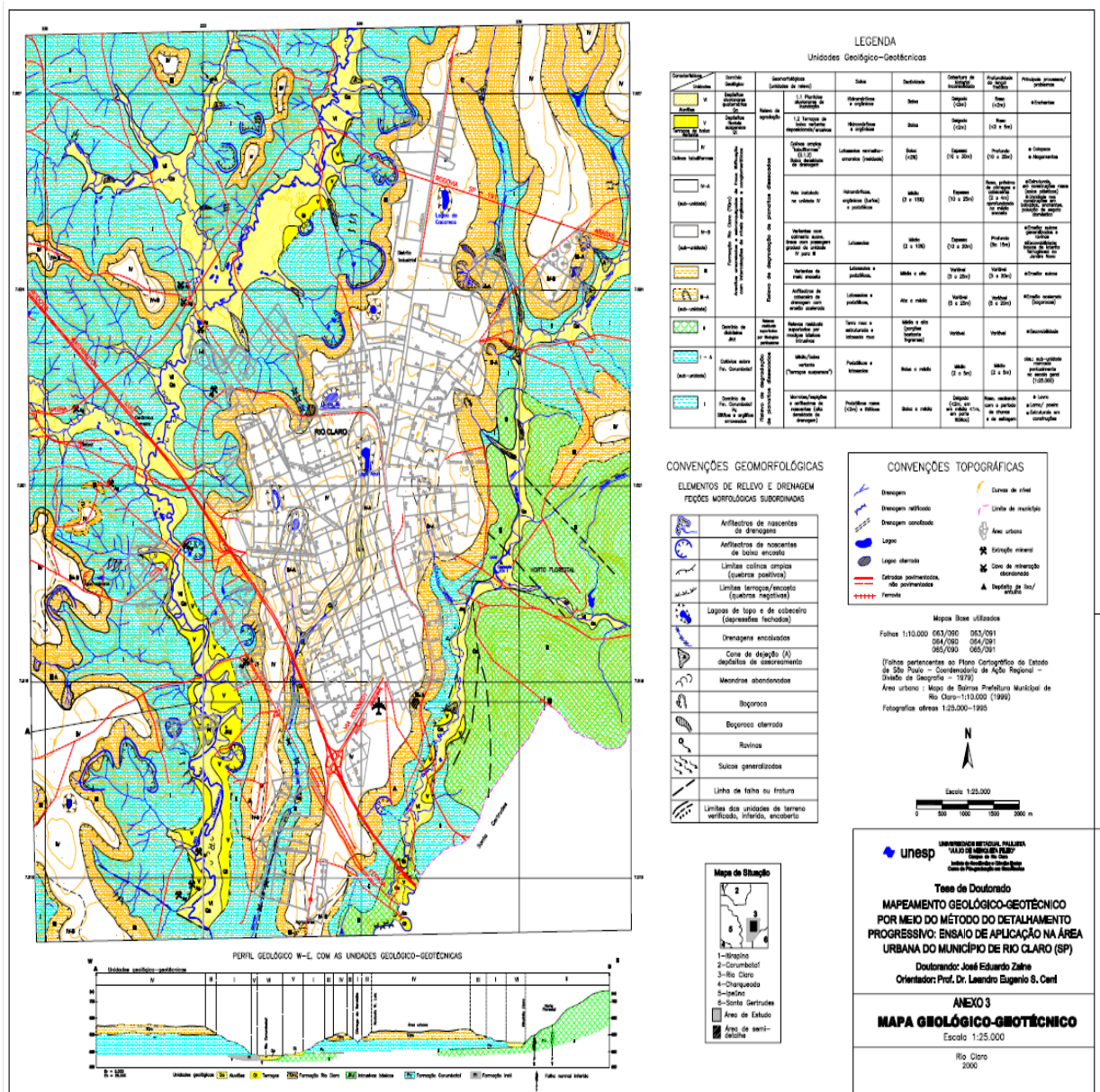


Figura 4.2 Mapa Geológico-Geotécnico do Município de Rio Claro (ZAINE, 2000)

Predominantemente a zona urbana de Rio Claro está situada sobre a Formação Rio Claro, onde ocorrem principalmente latossolos e argissolos. Foram escolhidas cinco localidades dentro da área urbana do município de Rio Claro para simular a instalação das trincheiras de infiltração nestas áreas. Na Tabela 4.1 estão apresentados os pontos escolhidos, indicando o tipo de solo que ocorre em cada um, juntamente com suas condutividades hidráulicas. Para a classificação dos solos foi utilizado o mapeamento geológico/geotécnico do município de Rio Claro proposto por Zaine (2000).

Tabela 4.1 Pontos escolhidos para estudo de implantação das trincheiras

Pontos	Tipo de Solo		Condutividade Hidráulica (Guelph)	Coordenadas (UTM)	
	Textura	Ordem		Leste	Norte
Ponto 1	Arenoso	Latossolo	1,17.10E-4	238.172	7520.739
Ponto 2	Silto-arenoso	Latossolo vermelho- amarelo	2,81.10E-5	236.411	7522.625
Ponto 3	Argiloso	Argissolo vermelho- amarelo	2,82.10E-6	237.037	7519.891
Ponto 4 (UNESP)	Argiloso	Argissolo vermelho- amarelo	5,73.10E-6	238.172	7520.739
Ponto 5	Argiloso	Argissolo vermelho- amarelo	9,54.10E-7	234.742	7519.891



Figura 4.3 Localização dos pontos na cidade de Rio Claro onde estudou-se a implantação das trincheiras

4.4 Método de dimensionamento

Foram feitos cinco projetos de trincheira, cada um com uma condutividade hidráulica diferente.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o “*rain-envelope method*”, ou “método envelope de chuva”, por ser simples, de aplicação direta a partir dos dados de caracterização do local de implantação e da curva IDF (intensidade-duração-frequência).

Para determinação do volume de dimensionamento baseou-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída do dispositivo de infiltração (trincheiras). A curva de valores acumulados, no tempo, dos volumes afluentes ao dispositivo que é construída com base na curva IDF local, é comparada com a curva de valores dos volumes dele efluentes determinados com base nas características de infiltração do solo, a máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento.

Para a área do lote foi considerado um valor de 160 m^2 para cada um e uma taxa de 10% de área permeável dentro destes. Dessa forma considerou-se para o dimensionamento das trincheiras uma área de lote de 144 m^2 . Estes valores foram baseados no Plano Diretor de Rio Claro 2008, em que o tamanho de lote mínimo para o município é de 160 m^2 . A taxa de ocupação varia conforme zonas estabelecidas neste Plano Diretor, mas adotou-se esta taxa considerando a implantação das trincheiras em zonas residenciais.

O volume de entrada foi determinado utilizando-se tempo de retorno de 5 anos para a curva IDF ajustada para cidade Rio Claro. O coeficiente de escoamento adotado foi de 0,85, escolhido considerando-se o tamanho de área construída de cada lote somando-se suas áreas impermeáveis. Além disso, para escolha desse parâmetro foi considerado a área de instalação dessas trincheiras como sendo residenciais com ocupação densa.

A área de percolação é estimada considerando que a área superficial da base é totalmente colmatada após algum tempo. Além disso, é recomendado que a condutividade de seja reduzida por um fator de segurança. Recomenda-se que o valor seja reduzido por um coeficiente de segurança 2 ou 3, de acordo com o local onde está inserida a estrutura de percolação. Para o presente trabalho foi utilizado fator 2.

Como já citado, o volume de saída é determinado considerando-se a condutividade hidráulica do solo.

Em relação ao material de preenchimento da trincheira, no caso brita, considerou-se sua porosidade no valor de 54,6% a partir de ensaios realizados no laboratório de geotécnica do Campus da Unesp - Rio Claro.

4.5 Avaliação da redução do hidrograma de cheia de lotes urbanos proporcionada pela utilização de trincheiras de infiltração.

Com o intuito de avaliar a eficiência dessas técnicas alternativas na redução do escoamento superficial em lotes urbanos, foram feitas estimativas da redução do hidrograma de cheia para os pontos estudados, e os resultados são mostrados no capítulo seguinte.

4.5.1 Estimativa da vazão de escoamento superficial

O cálculo estimado da vazão de escoamento no exutório de cada lote, para uma dada chuva de projeto, é feito pelo método racional:

$$Q=0,278C.i.A$$

em que:

Q = vazão de escoamento, m^3/s

C = coeficiente de escoamento superficial

i = intensidade de precipitação, mm/h

A = Área da bacia, km^2

Além do coeficiente de escoamento superficial, é necessário estimar a intensidade de precipitação, o que pode ser feito por meio da curva IDF, em que o período de retorno considerado em projetos de micro drenagem varia de 2 a 10 anos.

De acordo com a proposta do método racional, a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia seja pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade, conforme salientam Bidone e Tucci (1995), que sugerem, para o cálculo do tempo de concentração da bacia o seguinte equacionamento:

A velocidade das superfícies é obtida com base na Equação 5.1:

$$v = k.S^{0,5} \quad \text{Eq.5.1}$$

em que:

v = velocidade, em m/s ;

k = coeficiente estimado de acordo com os ensaios;

S = declividade da superfície, em %.

O tempo de concentração é calculado por:

$$t_c = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

em que:

L_i = comprimento do trecho

v_i = velocidade no trecho

O cálculo do tempo de concentração feito por este método, para bacias muito pequenas, como um conjunto de lotes ou mesmo um único lote urbano, gera valores muito pequenos, e, conseqüentemente, intensidades muito altas. Por este motivo, adotou-se um tempo de concentração de 20 minutos para determinar a curva IDF.

4.5.2 Estimativa da redução no escoamento superficial com o uso de trincheiras:

A estimativa de redução do escoamento superficial, considerando que cada um dos lotes possua uma trincheira de infiltração, é feita através do balanço hídrico no lote, da seguinte forma:

$$V_e = V_a - V_i$$

em que:

V_e = volume escoado, m^3

V_a = volume afluente, m^3

V_i = volume infiltrado, m^3

Volume afluente:

O volume afluente é calculado com base na vazão de escoamento, estimada no item anterior (4.5.1), pelo método racional, e no tempo de precipitação.

Volume infiltrado:

Estimativa com base no modelo de Urbonas e Stahre (1993) apresentado no item de dimensionamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Condutividade hidráulica

A partir do ensaio de permeabilidade “in situ” com o permeâmetro de *Guelph*, foi possível determinar a condutividade hidráulica do solo. Foram realizados dois ensaios, um com a coluna d’água de 5 cm e o outro com 10 cm.

Primeiro conjunto de leituras ($H_1 = 5\text{cm}$)

n leitura	Temp. (min)	Interv.temp (min)	Nív.d’água (cm)	Var.niv. d’água(cm)	R1 (cm/min)
1	0	2	12,5	-	-
2	2	2	12,9	0,4	0,2
3	4	2	13,3	0,4	0,2
4	6	2	13,8	0,5	0,25
5	8	2	14,2	0,4	0,2
6	10	2	14,7	0,5	0,25
7	12	2	15,1	0,4	0,2
8	14	2	15,6	0,5	0,25
9	16	2	16,0	0,4	0,2
10	18	2	16,5	0,5	0,25
11	20	2	16,9	0,4	0,2
12	22	2	17,3	0,4	0,2
13	24	2	17,8	0,5	0,25
14	26	2	18,2	0,4	0,2
15	28	2	18,6	0,4	0,2
16	30	2	19,0	0,4	0,2

Segundo conjunto de leituras ($H_2 = 10\text{ cm}$)

n leitura	Temp. (min)	Interv.temp (min)	Nív.d’água (cm)	Var.niv. d’água(cm)	R1 (cm/min)
1	0	2	25,5	-	-
2	2	2	26,5	1,0	0,5
3	4	2	27,5	1,0	0,5
4	6	2	28,4	0,9	0,45
5	8	2	29,3	0,9	0,45
6	10	2	30,3	1,0	0,5
7	12	2	31,3	1,0	0,5
8	14	2	32,2	0,9	0,45
9	16	2	33,2	1,0	0,5
10	18	2	34,0	0,8	0,4
11	20	2	35,0	1,0	0,5
12	22	2	36,0	1,0	0,5
13	24	2	37,1	1,1	0,55
14	26	2	38,1	1,0	0,5
15	28	2	39,1	1,0	0,5
16	30	2	40,1	1,0	0,5

Para o primeiro conjunto de leituras, $\underline{R}_1 = R_1/60 = 3,33 \times 10^{-3} \text{cm/s}$

Para o segundo conjunto de leituras, $\underline{R}_2 = R_2/60 = 8,33 \times 10^{-3} \text{cm/s}$

A partir desses valores é possível obter o coeficiente de condutividade hidráulica “in situ” K através da expressão:

$$K = [(0,0041) (X) (\underline{R}_2) - (0,0054) (X) (\underline{R}_1)] = 5,73 \times 10^{-4} \text{ cm/s ou } 5,73 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Devido a inviabilidade de se obter os valores das condutividades hidráulicas de uma área grande como é a zona urbana de Rio Claro que fossem representativos para o estudo, os valores utilizados deste parâmetro foram retirados do trabalho de Oliva (2006), no qual se

caracteriza de forma rápida e segura a distribuição da condutividade hidráulica na zona não-saturada, para a escala de área urbana do município.

5.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica, realizada para o solo do ponto 4, conforme procedimento descrito no item 4.2.1 e normalizado pela NBR-6502, mostrou que o Solo contém 45% de argila, 35% de silte e 15% de areia. De acordo com essa distribuição granulométrica, o solo é classificado como argiloso.

A Figura 5.1 apresenta a curva granulométrica deste solo, e na Tabela 5.1 apresenta-se a composição granulométrica, bem como os índices físicos do solo.

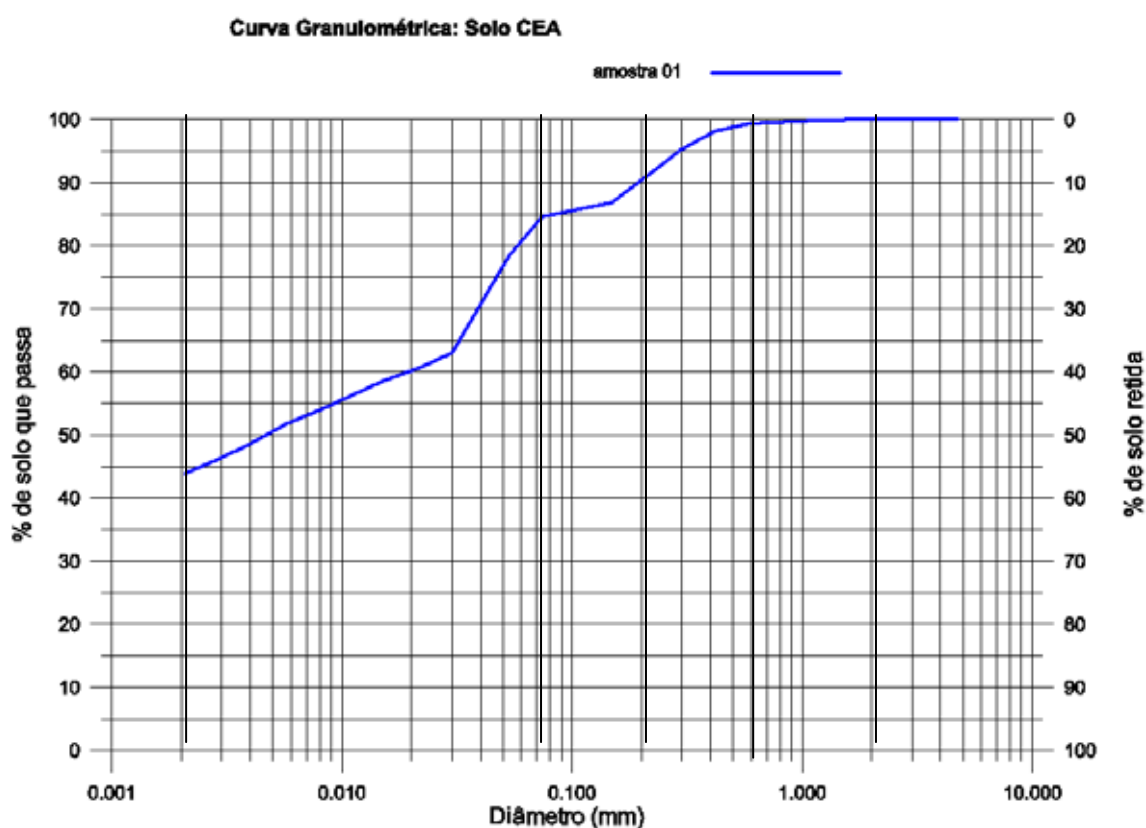


Figura 5.1 Curva Granulométrica do Solo (Ponto 4)

Tabela 5.1 Composição Granulométrica e índices físicos do Solo (Ponto 4)

Composição Granulométrica	Solo	
Argila	45,5	85,5
Silte	40	
Areia Fina	6	15,5
Areia média	9	
Areia grossa	0,5	
Pedregulho	0,0	
Massa específica do solo ρ (g/cm³)	1,63	
Massa específica dos sólidos ρ_s (g/cm³)	2,69	
Massa específica aparente seca ρ_d (g/cm³)	1,25	
Índice de vazios(e)	1,15	
Porosidade(%)	53,5	
Grau de Saturação(%)	71,52	

5.3 Dimensões das trincheiras

Nos quadros de 1 a 5 estão apresentadas as planilhas de dimensionamento das trincheiras de infiltração para vários cenários.

Para os cinco projetos, foram feitas aproximações nas dimensões das trincheiras, objetivando ter valores arredondados para instalação desses dispositivos.

Trincheira 1(Ponto 1)

1.Material Porosidade(ϕ)	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=1,17 \times 10^{-4}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança (fator 2)	Sim ☐ 				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	$K=5,85 \times 10^{-5}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144 \text{m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=3,1 \text{ m}$				
Largura	$b=1 \text{ m}$				
Altura	$h=1 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}}=2.h.(b+L)$	$A_{\text{perc}}=8,2 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T=3,1 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente: $V_T(t) = 3600.C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,05	440,595	1,21	0,12	1,08
	0,1	373,674	2,05	0,47	1,58
Volume de saída: $V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,14	335,725	2,58	0,90	1,68
	0,2	293,792	3,23	1,81	1,43
	0,3	246,586	4,07	4,01	0,05
Volume necessário: $V=\text{máx}(V_e-V_s)$	0,4	214,835	4,73	7,08	-2,34
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}}=V/\phi$					
Volume(V): $1,68 \text{ m}^3$					
$V_{\text{dim}}=3,07 \text{m}^3$					
Comparar V_T com V_{dim} : - se $V_T \gg V_{\text{dim}}$: reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T < V_{\text{dim}}$: aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T \geq V_{\text{dim}}$: fim do processo de dimensionamento.					

Trincheira 2(Ponto 2)

1.Material Porosidade(ϕ)	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=2,81 \times 10^{-5}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim ☒  Não ☐				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	$K=1,41 \times 10^{-5}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144\text{m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=5,0 \text{ m}$				
Largura	$b=1,0 \text{ m}$				
Altura	$h=1,0 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}}=2.h.(b+L)$	$A_{\text{perc}}=12 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T=5 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	$t(\text{h})$	$I(\text{l/s/ha})$	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente: $V_T(t) = 3600.C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,1	373,67	2,05	0,17	1,89
	0,2	293,79	3,23	0,63	2,6
Volume de saída: $V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,26	263,01	3,76	1,06	2,70
	0,3	246,58	4,07	1,41	2,65
	0,4	214,83	4,73	2,48	2,45
Volume necessário: $V=\text{máx}(V_e-V_s)$	0,5	191,75	5,28	3,86	1,42
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}}=V/\phi$					
Volume(V):2,70 m^3					
$V_{\text{dim}}=4,94 \text{ m}^3$					
Comparar V_T com V_{dim} : - se $V_T \gg V_{\text{dim}}$: reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T < V_{\text{dim}}$: aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T \geq V_{\text{dim}}$: fim do processo de dimensionamento					

Trincheira 3 (Ponto 3)

1.Material Porosidade(ϕ)	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=2,82 \times 10^{-5}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim Não 				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	$K=1,41 \times 10^{-6}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,2 \text{ m}$				
Largura	$b=1,0 \text{ m}$				
Altura	$h=1,1 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}}=2.h(b+L)$	$A_{\text{perc}}=20,24 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T=9,02 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	$t(\text{h})$	$I(\text{l/s/ha})$	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente: $V_T(t) = 3600 \cdot C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,2	3,236	3,23	0,10	3,13
	0,4	4,733	4,73	0,42	4,31
Volume de saída: $V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,6	5,752	5,75	0,94	4,81
	0,74	6,324	6,32	1,42	4,9
	0,8	6,545	6,54	1,66	4,88
Volume necessário: $V=\text{máx}(V_e-V_s)$	0,9	6,887	6,88	2,10	4,78
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}}=V/\phi$					
Volume(V)4,9 m³:					
$V_{\text{dim}}=8,97 \text{ m}^3$					
Comparar V_T com V_{dim} : - se $V_T \gg V_{\text{dim}}$: reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T < V_{\text{dim}}$: aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T \geq V_{\text{dim}}$: fim do processo de dimensionamento					

Trincheira 4(Ponto 4)

1.Material Porosidade(ϕ)	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=5,73 \times 10^{-6}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança	Sim ☒ Não ☐				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	$K=2,865 \times 10^{-6}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,0 \text{ m}$				
Largura	$b=0,95 \text{ m}$				
Altura	$h=1,0 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}}=2.h(b+L)$	$A_{\text{perc}}=17,9 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T=7,6 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente: $V_T(t) = 3600.C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,2	293,792	3,23	0,19	3,04
	0,3	246,586	4,07	0,43	3,64
Volume de saída: $V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	0,40	214,835	4,73	0,75	3,97
	0,52	187,857	5,38	1,27	4,11
	0,6	174,077	5,75	1,69	4,06
Volume necessário: $V=\text{máx}(V_e-V_s)$ Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}}=V/\phi$	0,7	160,025	6,16	2,29	3,87
Volume(V):4,11 m ³					
$V_{\text{dim}}=7,52 \text{ m}^3$					
Comparar V_T com V_{dim} : - se $V_T \gg V_{\text{dim}}$ reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T < V_{\text{dim}}$ aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5; - se $V_T \geq V_{\text{dim}}$ fim do processo de dimensionamento					

Trincheira 5(Ponto 5)

1.Material Porosidade(ϕ)	$\phi=54,6$				
2.Solo Condutividade hidráulica saturada(k)	$K=9,54 \times 10^{-7}$				
Reduzir o valor da condutividade por um fator de segurança(fator 2)	Sim				
Condutividade hidráulica de projeto em caso de redução	Não				
	$K=4,77 \times 10^{-7}$				
3.Coefficiente de Escoamento(C)	$C=0,85$				
4.Área contribuinte(A)	$A=144 \text{ m}^2$				
5.Dimensões Iniciais da trincheira					
Comprimento	$L=8,0 \text{ m}$				
Largura	$b=1,31 \text{ m}$				
Altura	$h=1,6 \text{ m}$				
Área de percolação $A_{\text{perc}} = 2.h(b+L)$	$A_{\text{perc}} = 29,792 \text{ m}^2$				
Volume da trincheira	$V_T = 16,768 \text{ m}^3$				
6. Curvas de volume de entrada e saída da estrutura	t(h)	I(l/s/ha)	$V_e(\text{m}^3)$	$V_s(\text{m}^3)$	$V_e - V_s(\text{m}^3)$
Volume afluente: $V_T(t) = 3600.C \cdot \frac{I_T}{1000} \cdot t \cdot A$	0,5	191,754	5,28	0,32	4,94
	1,0	130,762	7,20	1,29	5,91
Volume de saída: $V_{\text{perc}}(t) = k \cdot \frac{A_{\text{perc}}}{2} \cdot 3600 \cdot t_p$	3,0	67,268	11,11	2,34	8,77
	4,2	54,454	12,59	3,49	9,13
	4,8	50,043	13,23	4,15	9,07
Volume necessário: $V = \text{máx}(V_e - V_s)$	5,0	48,764	13,42	4,41	9,01
Volume dimensionamento: $V_{\text{dim}} = V / \phi$					
Volume(V): 9,13 m³					
$V_{\text{dim}} = 16,72 \text{ m}^3$					
Comparar V_T com V_{dim} :					
- se $V_T \gg V_{\text{dim}}$: reduzem-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5;					
- se $V_T < V_{\text{dim}}$: aumentam-se as dimensões da trincheira e recomeçar no item 5;					
- se $V_T \geq V_{\text{dim}}$: fim do processo de dimensionamento					

A seguir são mostrados, para cada caso estudado, possíveis arranjos de trincheiras de infiltração em lotes urbanos.

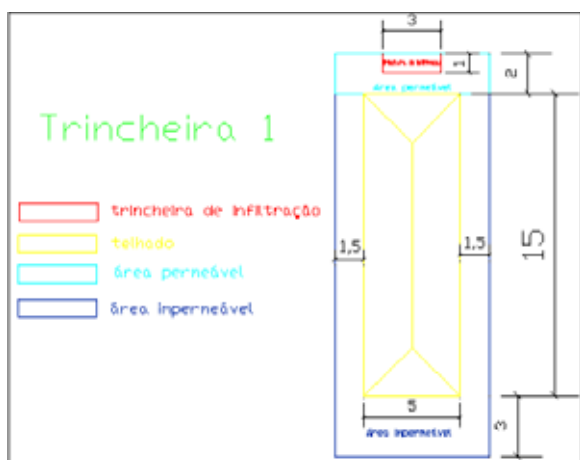


Figura 5.2 Localização da trincheira 1 no lote

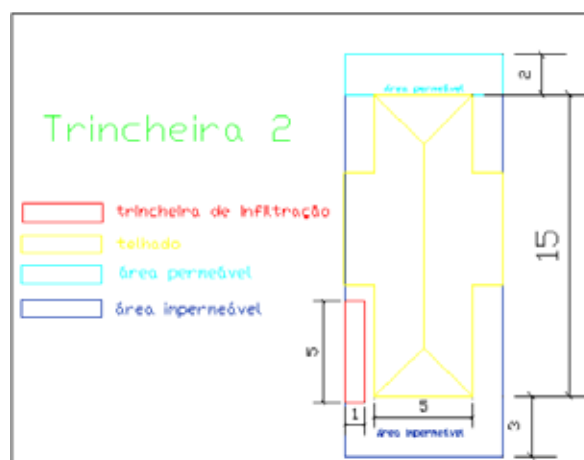


Figura 5.3 Localização da trincheira 2 no lote

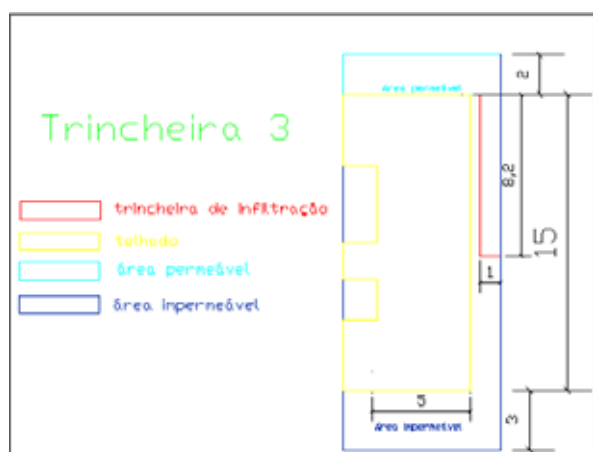


Figura 5.4 Localização da trincheira 3 no lote

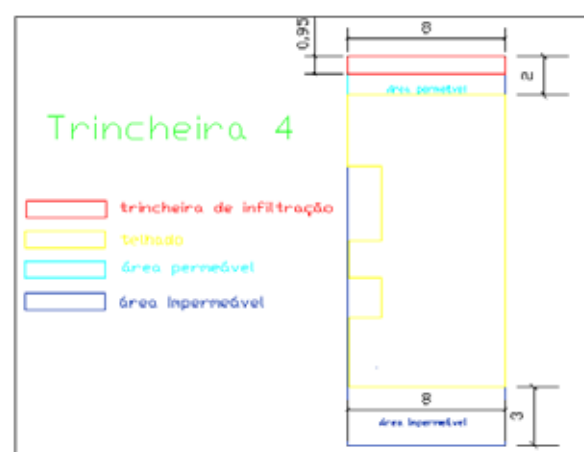


Figura 5.5 Localização da trincheira 4 no lote

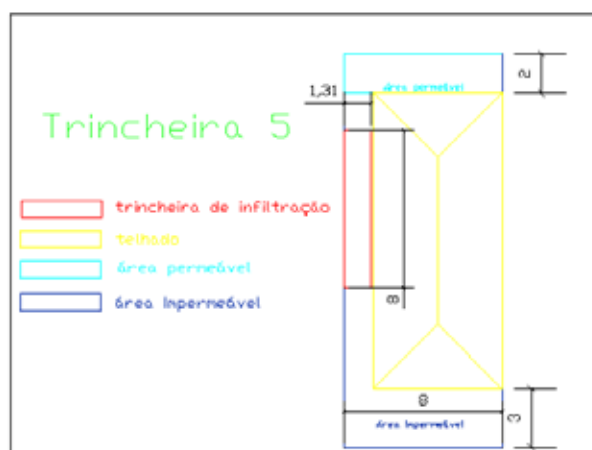


Figura 5.6 Localização da trincheira 5 no lote

A partir das figuras, nota-se que os cinco projetos de trincheiras que foram feitos são compatíveis com as dimensões do lote padrão considerado para o estudo (8,0mx20m).

5.4 Estimativa da redução do escoamento superficial em lotes urbanos

O efeito do uso de trincheiras de infiltração de águas pluviais no hidrograma de cheia da bacia só pode ser precisamente avaliado considerando-se as propriedades hidráulicas do solo, a função de transformação chuva-vazão da área de drenagem e as condições exatas de operação e manutenção das trincheiras.

No entanto, para fins de prognóstico, pode-se fazer uma avaliação simplificada, utilizando-se o método racional e as condições ideais de operação das instalações de infiltração.

5.4.1 Estimativa da vazão de escoamento superficial

Considerando a duração da precipitação de 20 minutos, têm-se as intensidades para os seguintes tempos de retorno:

Para $T=2$ anos, a intensidade de precipitação é:

$$i=65,21 \times 2^{0,161}=72,91 \text{ mm/h}$$

Para $T=5$ anos, a intensidade de precipitação é:

$$i=65,21 \times 5^{0,161}=84,50 \text{ mm/h}$$

De acordo com o método racional, e considerando que:

Área de contribuição = 160m^2 (área mínima dos lotes para município de Rio Claro) = $1,6 \times 10^{-4} \text{ km}^2$

$C = 0,85$ (adotado, Tabela 3.6)

Tem-se:

Para $T=2$ anos

$$Q = 0,278 (0,85) (72,91) (1,6 \times 10^{-4}) = 2,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} = 2,75 \text{ l} / \text{s}$$

Para $T=5$ anos

$$Q = 0,278 (0,85) (84,5) (1,6 \times 10^{-4}) = 3,19 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} = 3,19 \text{ l} / \text{s}$$

5.4.2 Estimativa da redução no escoamento superficial com o uso de trincheiras

Para os cinco projetos de trincheira, são mostrados a seguir na Tabela 5.2 os valores dos volumes afluentes e os volumes infiltrados e armazenados, e a partir destes foram obtidas estimativas de redução do escoamento superficial para as cinco diferentes situações.

Tabela 5.2 Estimativa da redução do escoamento superficial nos pontos estudados

	Dimensões da trincheira	Volume afluente	Volume infiltrado	Volume total (infiltrado+ armazenamento)	Volume escoado total	Estimativa de redução
Ponto 1	L=3,1m b=1,0 m H=1,0 m	Para T=2 anos $V_a = Q \cdot t = 2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 5,85 \times 10^5 \times 4,1 \times 3600 \times 0,33 = 0,285 \text{ m}^3$	$V_t = 0,285 \text{ m}^3 + (3,1 \times 1,0 \times 1,0) \times 0,546 = 1,977 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e = V_a - V_t = 1,323 \text{ m}^3$	60% para T=2 anos;
		Para T=5 anos $V_a = Q \cdot t = 3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e = V_a - V_t = 1,851 \text{ m}^3$	48% para T=5 anos.
Ponto 2	L=5,0 m b=1,0 m H=1,0 m	Para T=2 anos $V_a = Q \cdot t = 2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 1,41 \times 10^5 \times 6,0 \times 3600 \times 0,33 = 0,10 \text{ m}^3$	$V_t = 0,10 \text{ m}^3 + (5,0 \times 1,0 \times 1,0) \times 0,546 = 2,83 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e = V_a - V_t = 0,47 \text{ m}^3$	85% para T=2 anos;
		Para T=5 anos $V_a = Q \cdot t = 3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e = V_a - V_t = 0,998 \text{ m}^3$	74% para T=5 anos.
Ponto 3	L=8,2 m b=1,0 m H=1,1 m	Para T=2 anos $V_a = Q \cdot t = 2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 1,41 \times 10^{-6} \times 10,12 \times 3600 \times 0,33 = 0,016 \text{ m}^3$	$V_t = 0,016 \text{ m}^3 + (8,2 \times 1,0 \times 1,1) \times 0,546 = 4,94 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e = V_a - V_t = -1,64 \text{ m}^3$	100% para T=2 anos;
		Para T=5 anos $V_a = Q \cdot t = 3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e = V_a - V_t = -1,112 \text{ m}^3$	100% para T=5 anos.
Ponto 4	L=8,0 m b=0,95 m H=1,0 m	Para T=2 anos $V_a = Q \cdot t = 2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 2,865 \times 10^{-6} \times 8,95 \times 3600 \times 0,33 = 0,03 \text{ m}^3$	$V_t = 0,03 \text{ m}^3 + (8,0 \times 0,95 \times 1,0) \times 0,546 = 4,18 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e = V_a - V_t = -0,88 \text{ m}^3$	100% para T=2 anos;
		Para T=5 anos $V_a = Q \cdot t = 3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e = V_a - V_t = -0,352 \text{ m}^3$	100% para T=5 anos.
Ponto 5	L=8,0 m b=1,31 m H=1,6 m	Para T=2 anos $V_a = Q \cdot t = 2,75 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,3 \text{ m}^3$	$V_i = 4,77 \times 10^{-7} \times 14,986 \times 3600 \times 0,33 = 0,0085 \text{ m}^3$	$V_t = 0,0085 \text{ m}^3 + (8,0 \times 1,31 \times 1,6) \times 0,546 = 9,16 \text{ m}^3$	Para T=2 anos $V_e = V_a - V_t = -5,86 \text{ m}^3$	100% para T=2 anos;
		Para T=5 anos $V_a = Q \cdot t = 3,19 \times 10^{-3} \cdot 1200 = 3,828 \text{ m}^3$			Para T=5 anos $V_e = V_a - V_t = -5,332 \text{ m}^3$	100% para T=5 anos.

Esta é a estimativa de redução do escoamento superficial nos lotes, devida somente ao uso de trincheiras nestes. Técnicas complementares, tais como valas de infiltração em pátios e

estacionamentos e calçadas e pavimentos permeáveis nas vias de menor tráfego, podem otimizar a eficiência do sistema de drenagem do loteamento, como um todo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho foi estruturado de forma a atender aos objetivos propostos. A partir dos resultados obtidos nos experimentos de campo e laboratório e na simulação numérica das trincheiras, pode-se formular algumas conclusões, bem como apresentar propostas para trabalhos futuros.

6.1 Seleção das áreas de implantação das trincheiras

Para a seleção das áreas onde estudou-se implantar as trincheiras de infiltração na cidade de Rio Claro, foi considerado o tipo de solo de cada área, com o intuito de avaliar o comportamento hidráulico das trincheiras em situações propícia e contrária a infiltração. A maior parte da zona urbana de Rio Claro está situada na Formação Rio Claro, onde existe uma ocorrência muito grande de latossolos, solos com boas condições de infiltração. Apesar disso também existe a ocorrência no município de Rio Claro de solos com características menos favoráveis à infiltração, como exemplo argissolos. Pela predominância de solos com boas condições de infiltração, é aconselhável a incorporação desses dispositivos de infiltração tanto em projetos públicos, quanto em privados, como por exemplo, em pequenos loteamentos. A proposta do estudo na escolha das áreas de instalação destas estruturas de infiltração concentrou-se em lotes urbanos, mas recomenda-se para trabalhos futuros estudar a implantação dessas estruturas não somente a estes, mas também em outras áreas, como ao longo de vias públicas, estacionamentos, parques, entre outros.

6.2 Escolha do método de dimensionamento

Por se tratar de uma área de estudos recente, principalmente no Brasil, os métodos de dimensionamento de dispositivos de infiltração ainda são incipientes. A escolha do método de dimensionamento aqui adotado deu-se por ser um método de simples, de fácil aplicação e que revela bons resultados, além de ser um dos métodos mais utilizados no dimensionamento de estruturas de infiltração. O que vem sendo feito em trabalhos na área, é a proposição de novos modelos, seja para incorporar os métodos existentes ou mesmo inovar. Isso é importante para que seja analisado com mais precisão o processo de infiltração da água, principalmente a infiltração horizontal, que é fundamental devido à colmatção que ocorrem nestas estruturas.

6.3 Dimensionamento de trincheiras de infiltração

As dimensões das trincheiras simuladas foram calculadas para atender precipitações com período de retorno de cinco anos para o município de Rio Claro. Outros critérios de dimensionamento foram considerados, principalmente devido a colmatação dessas estruturas, em que a área de percolação tem seu valor reduzido pela metade. Dessa forma são estruturas longas e com bases estreitas, o que facilita a instalação destas em lotes urbanos. Além disso, outro parâmetro fundamental no dimensionamento é a escolha do material de preenchimento. A escolha deu-se pela brita, material usualmente utilizado no preenchimento de trincheiras, com uma com porosidade acima de 50%. Esse fator não só facilita o processo de percolação da água na trincheira, mas também faz com que esta tenha a função de reservatório. Recomenda-se estudar a utilização de outros materiais para o preenchimento, como resíduos de pet, pneus, entre outros, que além de servirem para este fim, ainda contribuem para o aumento da vida útil dos aterros sanitários.

6.4 Redução do hidrograma de cheia em lotes urbanos, devida à utilização de trincheiras de infiltração.

A avaliação feita no capítulo 5, sobre a redução no hidrograma de cheia de lotes urbanos pelo uso de trincheiras, apesar de simplificada pela utilização do método racional na determinação das vazões, e pela equação de Darcy no cálculo dos volumes infiltrados, pode fornecer uma estimativa aproximada da redução no escoamento superficial.

O estudo revelou, considerando os cinco tipos de solo estudados no trabalho, reduções da ordem de 60 a 100% no escoamento superficial gerado no lote, para o período de retorno de 2 anos, e de 48 a 100% para o período de retorno de 5 anos. Atingi-se eficiências bastante satisfatórias com uso desses dispositivos, pois além de serem dispositivos de infiltração, cumprem a função de reservatórios também. Conclui-se, portanto, que para solos com baixos valores de condutividade hidráulica, esses dispositivos podem ser denominados trincheiras de retenção ao invés de infiltração, pois armazenam mais água do que esta infiltra no solo. Esta faixa de eficiência pode ser otimizada por meio da aplicação conjunta com outras técnicas de redução do hidrograma de cheia, e por estudos mais elaborados sobre a relação custo x benefício de sistemas de infiltração de águas de chuva. Este trabalho se propôs a estudar o tema "trincheiras de infiltração" em alguns de seus principais aspectos, tais como o seu comportamento hidráulico, e métodos de dimensionamento e avaliação da eficiência quando aplicadas em bacias urbanas. Um variado leque de possibilidades se abre com relação aos

estudos futuros sobre este tema, e alguns deles foram apresentados nesta seção. Recomenda-se que estas avaliações sejam aprimoradas em condições locais em bacias da região de Rio Claro e que sejam incorporadas como tecnologias na escala de lote que favoreçam o gerenciamento integrado em bacias urbanas visando o Plano Diretor respectivo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) Rochas e Solos. NBR-06502, 1995.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**, Porto Alegre: ABRH, 2005.266p

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.302 p.

CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo, 467 p. 1979.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Metodologia para o dimensionamento de trincheiras de infiltração para o controle do escoamento superficial na origem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 207-214. 2008

GRACIOSA, M. C. P. **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 294p. 2005.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. **Avaliação da eficiência de trincheiras de infiltração como dispositivos de controle na origem das águas pluviais urbanas – considerações técnicas de dimensionamento para planos diretores**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.12p. 2005.

GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Simulação hidráulica de trincheiras de infiltração de águas pluviais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, revisado e aceito para publicação, em preparação. 2008.

LIMA, J. C de. **Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio não saturado**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 177 p. 2009.

MANUAL de drenagem urbana. Porto Alegre: DEP, [2005]. 167 p.

MANUAL técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, [2005]. 300 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 4).

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P. **Stormwater infiltration design based on rainfall statistics and soil hydraulics**. Proc. ASCE International Symposium on Engineering Hydrology, San Francisco, California, p. 653-658. 1993.

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. Infiltration practice for control of urban stormwater. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34, n. 6, p. 827-840. 1996.

MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, S. O. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.13, p.59-68, Maio, 2009

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP.** 196 f. (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp-Rio Claro, 196f. 2006.

PORTO, R. L. L. **Escoamento superficial direto. In: Drenagem Urbana.** BARROS, M. T. de; PORTO, R. L. L.; TUCCI, C. E. M. (orgs.). Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, p.107- 165. 1995.

SILVA, J. P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p. 2007.

SOUZA, V. C. B. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental.** (Capítulo em Avaliação e controle da drenagem urbana) – ed. ABRH, 548p. 1999.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle do escoamento superficial** (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** ABRH editora da Universidade do Rio Grande do Sul, 428p. 1995.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro –SP.** (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 90f. 1994.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** (Dissertação de Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp-Rio Claro, 149 f. 2000.

APÊNDICE A

Planilha modelo usada para cálculo de dimensionamento da trincheira do
Ponto 1

Coeficiente de escoamento superficial	0,85
Condutividade hidráulica saturada	$1,17 \times 10^{-4}$ m/s
Área do lote	144 m ²

Duração(min)	t(h)	I(l/s/ha)	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Vacum (m ³)	Ve-Vs (m ³)	Área (ha)	Aperc/2(m2)	K(m/s)	K/2(m/s)
3	0,05	440,595	1,213399	0,043173	0,129519	1,08388	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
3,6	0,06	424,821	1,403948	0,051808	0,181327	1,222622	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
6	0,1	373,6742	2,058197	0,086346	0,474903	1,583294	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
6,6	0,11	363,1851	2,200466	0,094981	0,569884	1,630582	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
8,4	0,14	335,7253	2,588845	0,120884	0,906633	1,682212	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
9	0,15	327,6896	2,707372	0,129519	1,036152	1,67122	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
10,8	0,18	306,242	3,036206	0,155423	1,476517	1,559689	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
11,4	0,19	299,8531	3,138023	0,164057	1,640574	1,497449	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585
12	0,2	293,7921	3,236414	0,172692	1,813266	1,423148	0,0144	4,1	0,000117	0,0000585

Gráfico gerado a partir dos valores de volumes acumulados X tempo de precipitação para a trincheira do Ponto 1.

