



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDILSON GOMES DE FRANÇA

**A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM PARQUE URBANO NA CIDADE
DO RECIFE**

Recife
2018

EDILSON GOMES DE FRANÇA

**A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM PARQUE URBANO NA CIDADE
DO RECIFE**

Dissertação apresentada à Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto

Coorientador: Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F814i França, Edilson Gomes

A Infiltração da água no solo em parque urbano na cidade do Recife/Edilson Gomes de França. – Recife, 2018.

64 pag., il., gráfs., tabs.

Orientador (a): Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto

Coorientador (a): Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Manejo das águas pluviais. 3. Método Beerkan. 4. Simulação numérica. I. Ribeiro Neto, Alfredo (Orientador). II. Coutinho, Artur Paiva (Coorientador). III. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2018-442

EDILSON GOMES DE FRANÇA

**A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM PARQUE URBANO NA CIDADE
DO RECIFE**

Dissertação apresentada à Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 27 de agosto de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Celso Dantas Antonino (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha neta, Lorena que chegou para nos alegrar.

À Welman Farias de França, a mãe de meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, pela oportunidade de concluir mais uma etapa importante em minha vida.

Aos professores Antonino, Artur e Edevaldo pelo incentivo, ajuda, paciência e dedicação fundamentais para a conclusão deste projeto.

Aos colegas do DEN/UFPE (Departamento de Energia Nuclear): Neto, Vitor Hugo, Paulo, Maurício, Bruno Ursulino, Larissa e Ana.

À secretária do programa de pós-graduação em engenharia civil, Andréa, Claudiane e Cleide, pela boa vontade em sempre ajudar.

Ao DEN/UFPE (Departamento de Energia Nuclear), por disponibilizar o Laboratório de Solos para a realização das análises de solo.

Ao meu orientador, Professor Alfredo Ribeiro Neto, pela orientação e conhecimento repassado ao longo do período da elaboração deste trabalho.

Ao meu coorientador, MEU QUERIDO, Professor Artur Coutinho, pela grandiosa ajuda, cobrança e paciência em todos os momentos deste trabalho.

A minha chefe arquiteta Maria Isabel Pinto de Oliveira, diretora do DPP-UFPE pela paciência e compreensão em todos os momentos.

Aos meus pais José Luiz de França (in memoriam) e Jubiracy Gomes de França, pelo pão de cada dia.

Aos meus filhos Filipe Farias de França e Edilson Gomes de França Júnior pelo companheirismo.

A minha querida sogra Carmelita de Andrade Fariase cunhada Wilman Farias por tanta compreensão e respeito.

A minha querida neta Lorena, por nos proporcionar momentos felizes com sua presença.

E de forma muito especial, agradeço a minha melhor amiga, companheira de todas as horas e esposa Welman, você que sempre acreditou que eu conseguiria, até mesmo antes de mim. Que sempre incentivou e deu forças. Nunca conseguiria sem sua ajuda e companheirismo. Acho que você mais do que ninguém, sabe do valor da realização desse trabalho. E da imensa vitória que isso representa em minha vida, essa vitória não é minha, é NOSSA.

RESUMO

Ecotecnologias, como parques, são equipamentos urbanos ou estruturas urbanísticas que promovem o bem estar social através da disponibilidade de elementos facilitadores do convívio humano: encontros, práticas esportivas e diversão. Além disso, os parques permitem um impacto hidrológico positivo em bacias urbanas, que é pouco estudado na literatura técnico científica. A elevada arborização desses locais permite uma maior retenção das águas pluviais urbanas. No entanto, a quantificação da contribuição dos parques nos processos de retenção e armazenamento da precipitação pluviométrica é pouco relatada na literatura. O objetivo desse trabalho é avaliar a capacidade de infiltração e determinar os parâmetros hidrodinâmicos de superfícies típicas de um parque urbano. A metodologia Beerkan foi utilizada, a partir de ensaios de infiltração, para determinar os parâmetros da curva de retenção de água no solo e os parâmetros da curva de condutividade hidráulica através de ensaios de infiltração realizados em oito pontos em cada uma das três áreas selecionadas: área de recreação infantil, área de jardins e área de convivência. O modelo Hydrus 1-D foi utilizado para simulação dos componentes do balanço hídrico. Os resultados demonstraram que a área de Jardim apresentou maior capacidade de infiltração, seguida das áreas de recreação infantil e de convivência, respectivamente. A metodologia Beerkan apresentou desempenho satisfatório na determinação das propriedades hidráulicas. As simulações numéricas com o modelo Hydrus demonstraram que o maior percentual da precipitação pluviométrica é convertido em lâmina d'água para recarga do lençol freático, seguido pela evaporação real, e pelo escoamento superficial, respectivamente.

Palavras-chave: Manejo das águas pluviais. Método Beerkan. Simulação numérica.

ABSTRACT

Ecotechnologies, such as parks, are urban equipment or urban structures that promote social well-being through the availability of elements that facilitate social living: meetings, sports and recreation. In addition, parks allow a positive hydrological impact in urban basins, which is not deeply studied in the technical scientific literature. The high afforestation of these sites allows a greater retention of the urban rainwater, however, the quantification of the contribution of the parks in the processes of retention and storage of rainfall is not largely reported in the literature. The objective of this work is to evaluate the infiltration capacity and to determine the hydrodynamic parameters of typical surfaces of an urban park. The Beerkan methodology was used, from infiltration tests, to determine the parameters of the water retention curve in the soil and the parameters of the hydraulic conductivity curve through infiltration tests performed in eight points in each of the three selected areas: children's play area, gardens area and living area. The Hydrus 1-D model was used to simulate the components of the water balance. The results showed that the garden area presented greater infiltration capacity, followed by the children's recreation and living areas, respectively. The Beerkan methodology presented satisfactory performance in determining the hydraulic properties. Numerical simulations with the Hydrus model demonstrated that the highest percentage of rainfall is converted into recharge of the water table, followed by actual evaporation, and surface runoff, respectively.

Keywords: Stormwater management. Beerkan method. Numerical simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Triângulo de classificação de textura do solo.....	19
Figura 2 –	Localização do Parque da Jaqueira no contexto da Cidade do Recife.....	24
Figura 3 –	Teste de infiltração tridimensional com infiltrômetro de anel simples (150 mm de diâmetro).....	26
Figura 4 –	Procedimento do ensaio de infiltração.....	26
Figura 5 –	125 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio.....	28
Figura 6 –	Leituras com densímetro.....	28
Figura 7 –	Fracionamento das amostras por peneiramento mecanizado....	28
Figura 8 –	Curvas de infiltração acumulada em função do tempo para os oitos ensaios realizados.....	39
Figura 9 –	Classes texturais dominantes dos solos nos pontos ensaiados nas áreas P1, P2 e P3. ArF: Areia Franca; FAr: Franco Arenoso; FAAr: Franco Argilo Arenoso.....	42
Figura 10 –	Curvas de retenção para os ensaios realizados no Parque da Jaqueira.....	47
Figura 11 –	Condutividade hidráulica (B) para os ensaios realizados no Parque da Jaqueira.....	48
Figura 12 –	Curvas de retenção médias para os solos da área de recreação, jardim urbano e área de convivência.	50
Figura 13 –	Box-plot das propriedades hidrodinâmica (a) e (b) e dos parâmetros de forma (c) e (d).....	52
Figura 14 –	Ajuste do modelo de distribuição dos poros de Burdine para o modelo de distribuição dos poros de Mualem para as superfícies: Jardim Urbano – JPU, Área de Recreação Infantil – ARI e Área de Convivência.....	53
Figura 15 –	Lâmina escoada a cumulada, evaporação real acumulada, lâmina infiltrada acumulada e lâmina de água armazenada em função do tempo.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação granulométrica, segundo a Sociedade Internacional de Ciência do Solo.....	18
Tabela 2 –	Áreas e pontos de referência.....	25
Tabela 3 –	Classificação hidrológica em função da condutividade hidráulica saturada.....	30
Tabela 4 –	Variação do tempo de infiltração em todos os pontos.....	41
Tabela 5 –	Variação da lâmina de infiltração em todos pontos.....	41
Tabela 6 –	Percentuais de Areia, Silte, Argila, Massa específica do solo e Classificação Textura para as superfícies de Área de convivência, Área de recreação infantil e Jardins no parque da Jaqueira.....	43
Tabela 7 –	Parâmetros de forma n , m , η e C_p para as superfícies no Parque da Jaqueira.	44
Tabela 8 –	Sorvidade, condutividade hidráulica saturada, umidade volumétrica na saturação e comprimento capilar para as superfícies do parque da jaqueira.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT/NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	American Society of Civil Engineers
BMP's	Best Management Practices
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
DEN	Departamento de Energia Nuclear
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISSC	International Society of Soil Science
LAMEPE/ITEP	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco do Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LID	Low Impact Development
PD	Precipitação Direta
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDE	Precipitação Direta somado ao Escoamento superficial
RMR	Região Metropolitana do Recife
SCS	Soil Conservation Service
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
USA	The United States of America
USDA	United States Department of Agriculture
WSUD	WaterSensitiveUrban Design

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	PARQUES PÚBLICOS.....	14
2.1.1	Áreas verdes em ambientes urbanos.....	14
2.1.2	Parques urbanos.....	15
2.1.3	Importância das áreas verdes para a qualidade ambiental nas cidades.....	16
2.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.2.1	O solo.....	18
2.2.2	Propriedades hidrodinâmicas do solo.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	DESCRIÇÃO DO SÍTIO EXPERIMENTAL.....	24
3.2	CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS	25
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	25
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA OBTENÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA.....	27
3.5	ESCALAS CARACTERÍSTICAS.....	35
3.6	O MODELO HYDRUS.....	35
3.7	HIPÓTESES E CONSIDERAÇÕES ADOTADAS NAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS UTILIZANDO O HYDRUS 1-D.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5	CONCLUSÕES.....	57
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização nas cidades brasileiras tem demonstrado a necessidade de mudanças de paradigmas com relação aos processos de uso e ocupação do solo. A urbanização influencia a paisagem urbana através da inserção de superfícies impermeáveis nas diversas escalas e etapas das construções: a implementação de concreto, asfalto ou blocos de granito em vias urbanas; a compactação do solo para melhoria de resistência nas diversas intervenções no meio urbano; a supressão da vegetação para as construções são exemplos de ações que alteram a dinâmica natural da água no meio urbano.

Nesse contexto, surgem as boas práticas de manejo ou as ações de baixo impacto para a gestão das águas pluviais urbanas. Essas práticas ou ações atuam valorizando os processos naturais do ciclo hidrológico. As intervenções decorrentes da urbanização geralmente impõem mudanças que resultam no aumento da precipitação efetiva, na diminuição da interceptação vegetal e da capacidade de retenção de água no solo.

Ecotecnologias, como parques, são equipamentos urbanos ou estruturas urbanísticas que promovem o bem estar social através da disponibilidade de elementos facilitadores do convívio humano: encontros, práticas esportivas e diversão. Além disso, os parques permitem um impacto hidrológico positivo em bacias urbanas que é pouco estudado na literatura técnico científica. A elevada arborização desses locais permite uma maior retenção das águas pluviais urbanas, no entanto, a quantificação da contribuição dos parques nos processos de retenção e armazenamento da precipitação pluviométrica é pouco relatada na literatura.

Uma das maneiras de avaliar o comportamento hidrológico de um parque é através da caracterização individual das diversas superfícies componentes desse equipamento urbano. Nos parques, observam-se a presença de jardins, áreas de recreação infantil, áreas destinadas ao lazer familiar e que permitem a realização de piqueniques. Do ponto de vista construtivo, essas áreas são compostas por solos com elevados contrastes de propriedades geotécnicas e hidrodinâmicas.

A avaliação da capacidade de infiltração pode ser determinada por diversos métodos. Dentre os métodos experimentais, os métodos baseados na infiltrometria, principalmente a infiltrometria de anel simples, com a aplicação do método Beerkan, possibilitam a determinação de propriedades hidráulicas realísticas do solo,

principalmente da condutividade hidráulica saturada, parâmetro indicador direto da capacidade de drenagem dos solos.

Do ponto de vista prático, o balanço hídrico dessas superfícies reflete diretamente a proporcionalidade da contribuição de cada uso e ocupação no processo hidrológico.

Modelos como o Hydrus tem sido bastante utilizados para a simulação dos processos de transferência de água em diversos tipos de coberturas. No caso de diferentes superfícies, a estimativa da magnitude dos componentes do balanço hídrico, permite expressar a real influencia hidrológica dos diferentes tipos de superfície numa ecoestrutura, como um parque urbano.

1.1 OBJETIVOS

Nesse tópico foram abordados os objetivos geral e específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a capacidade de infiltração e as características hidrodinâmicas do solo de um parque urbano nas condições reais da cidade do Recife.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade de infiltração de superfícies com diferentes usos num parque urbano: área de recreação infantil, área de convivência e área de jardins.
- Efetuar caracterizações hidrodinâmicas de superfícies típicas de parques urbanos utilizando a metodologia Beerkan.
- Efetuar simulações numéricas dos processos de transferência de água no Parque da Jaqueira utilizando o Hydrus 1-D.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse tópico estão expostos os resultados obtidos através da literatura estudada com o propósito de estruturar o conteúdo do trabalho.

2.1 PARQUES PÚBLICOS

Nesta seção buscou-se evidenciar as características dos parques, possibilitando assim a diferenciação entre os tipos existentes e caracterizando o objeto de estudo.

2.1.1 Áreas verdes em ambientes urbanos

Diversas civilizações e sociedades ao longo da história utilizaram a prática da criação de espaços naturais protegidos. Nos séculos XVII e XVIII, com o fortalecimento da classe burguesa surgiu o movimento que visava o embelezamento das cidades renascentistas. Essa classe social dispunha de recursos financeiros e tempo para o melhoramento das cidades. Os burgueses foram os precursores da ideia de criação de áreas verdes dentro do espaço urbano reportando ao movimento de volta à natureza que surge na sociedade capitalista e industrial, sendo responsável pela disseminação de vários parques urbanos no mundo, que fundamenta a ideia de criação dos espaços verdes urbanos. No decorrer dos séculos XVIII e XIX, inúmeras cidades do mundo, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, utilizaram a concepção de áreas verdes em ambientes urbanos (SILVA; EGLER, 2003). Pode-se considerar, então, que a primeira concepção estava vinculada ao embelezamento das cidades e a contemplação da natureza.

Ao percorrer a história da criação dos parques urbanos, percebe-se que o mesmo é um produto da era industrial (LIMA; ROCHA, 2009). As primeiras demandas por espaços naturais voltados para o lazer e para a recreação surgiram em decorrência do processo de urbanização das cidades, aglomeração demográfica nos centros urbanos e crescimento maciço da atividade industrial (VAINER, 2010). Com o crescimento das cidades e a destruição das florestas, o interesse por jardins e parques apareceu como contraponto à sociedade industrial (FERREIRA, 2006). O parque urbano nasceu sob a concepção de dotar as cidades de espaços adequados para

atender a nova demanda social: o lazer e o tempo do ócio, contrapondo-se ao ambiente urbano de vida agitada. A criação dos espaços verdes destinava-se especialmente à promoção da qualidade de vida urbana no bem-estar das pessoas (SILVA, 2003a). Sob essa concepção foi que nasceram os parques urbanos no Brasil e que os alicerçaram até o final dos anos 1990.

2.1.2 Parques urbanos

Os parques urbanos desempenham diferentes funcionalidades e configurações nas cidades, os quais estão diretamente relacionados às formas de gestão ambiental e padrões de crescimento dos núcleos urbanos. Enquanto alguns centros recebem multidões, outros estão vinculados à proteção ambiental. Um consenso na literatura, entretanto, é que parques urbanos são estrategicamente importantes para a qualidade de vida das pessoas no conjunto das sociedades em crescente urbanização (CHIESURA, 2004; KAPLAN, 1983; ULRICH, 1984). Isso porque os parques urbanos prestam serviços ambientais à população por meio da filtragem do ar, água, vento e poluição sonora; estabilização do microclima (TRATALOS et al., 2007); formação de um meio ambiente natural que influencia na saúde mental das pessoas por via da redução do estresse e provisão de sensação de paz e tranquilidade (CHIESURA, 2004) e, ainda, de espaço para promoção da saúde física (MCCORMACK et al., 2010). Todos esses benefícios creditados aos parques urbanos vinculam-se às perspectivas analíticas da concepção de cidade sustentável (LOURES et al., 2007).

Moreno (2006) relata que nos grandes centros urbanos, vem acontecendo várias alterações do clima, devido a fatores como, por exemplo, a impermeabilização dos solos decorrentes da ocupação urbana, que remove a vegetação, impõe a autoconstrução, redireciona os ventos e a insolação, ocorrendo tanto no centro das cidades como nas periferias. As enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em função da impermeabilização do solo e da construção das redes de condutos pluviais. A urbanização trouxe modificações nas características naturais do solo, provocando o aumento nas ocorrências de inundações, principalmente, na expansão da impermeabilização de sua superfície, e na redução da sua capacidade de infiltração (CHAMPS, 2009). Tucci (2009) afirma que quando a bacia hidrográfica é alterada pelo desmatamento, impermeabilização do solo, a aceleração do escoamento pelo transporte pelo meio fio, por bueiros, condutos e canais, as

inundações deixam de ser naturais. O escoamento pluvial deste tipo é denominado de drenagem urbana.

Em se tratando de Parques, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (2011) afirma que se trata de uma “área destinada à proteção dos ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, onde podem ser realizadas atividades de recreação, educação e interpretação ambiental e desenvolvidas pesquisas científicas”.

Para Lias (1993), o parque urbano tem por objetivo atender as demandas de equipamentos para as atividades de recreação e lazer provenientes da intensa expansão urbana e do novo ritmo da cidade industrial. Ao mesmo tempo, o parque vai atender às necessidades de criação de espaços amenizadores das estruturas urbanas, compensando as massas edificadas. Os parques urbanos desempenham diferentes funcionalidades e configurações nas cidades, os quais estão diretamente relacionados às formas de gestão ambiental e padrões de crescimentos de núcleos urbanos. Enquanto alguns centros recebem multidões, outros estão vinculados à proteção ambiental. Um consenso na literatura, entretanto é que parques urbanos são estrategicamente importantes para a qualidade de vida das pessoas no conjunto das sociedades em crescente urbanização (CHIESURA, 2004; KAPLAN, 1983; ULRICH, 1984).

2.1.3 Importância das áreas verdes para a qualidade ambiental nas cidades

São inúmeros os benefícios proporcionados pela arborização no meio urbano. Segundo DiFidio (1990), Lombardo (1990), Milano; Dalcin (2000) podemos destacar os seguintes:

Composição atmosférica urbana:

a) redução da poluição, por meio de processos de oxigenação: introdução de oxigênio na atmosfera; b) purificação do ar por depuração bacteriana e de outros microrganismos; c) ação purificadora por reciclagem de gases em processos fotossintéticos; d) ação purificadora por fixação de gases tóxicos; e) ação purificadora por fixação de poeiras e materiais residuais.

Equilíbrio solo-clima-vegetação:

Os parques apresentam impacto no microclima urbano no seu entorno, os principais impactos são observados nos seguintes itens: a) luminosidade e temperatura, através da vegetação, ao filtrar a radiação solar, suavizam as temperaturas extremas; b) enriquecimento da umidade por meio da transpiração da fitomassa; c) umidade e temperatura: a vegetação contribui para conservar a umidade dos solos, atenuando sua temperatura; d) redução na velocidade dos ventos; e) mantém a permeabilidade e a fertilidade do solo; f) embora somente parte da pluviosidade precipitada possa ser interceptada e retida pela vegetação em ambientes urbanos, esta, diminui o escoamento superficial de áreas impermeabilizadas; g) abrigo à fauna, seja em cativeiro ou servindo de abrigo para animais no meio urbano; h) influencia no balanço hídrico.

Atenuante dos níveis de ruído:

Amortecimento dos ruídos de fundo sonoro contínuo e descontínuo de caráter estridente, que ocorre nas grandes cidades.

Melhoria da estética urbana:

a) transmite bem estar psicológico, em calçadas e passeios; b) quebra da monotonia da paisagem das cidades, causada pelos grandes complexos de edificações; c) valorização visual e ornamental do espaço urbano; d) caracterização e sinalização de espaços, constituindo-se em um elemento de interação entre as atividades humanas e o meio ambiente.

2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foi caracterizado o solo e suas propriedades.

2.2.1 O solo

O estudo do solo é fundamental na compreensão dos processos hidrológicos como o escoamento superficial, a infiltração, o armazenamento da água no solo e a recarga das águas subterrâneas. O solo é definido como um sistema poroso, constituído por partículas sólidas e um volume de vazios, que podem ser ocupados parcialmente pelo ar e pela água, sendo, portanto, um armazenador de nutrientes e água para as plantas.

Do ponto de vista físico, o solo é um sistema trifásico muito heterogêneo. As três fases são representadas no solo da seguinte maneira: a fase sólida constitui a matriz do solo; a fase líquida que consiste na água do solo na qual existem substâncias dissolvidas, devendo ser chamada então de solução do solo, e a fase gasosa que é a atmosfera do solo (FERREIRA, 2010).

O conhecimento dos parâmetros físicos desse sistema permite um entendimento dos processos naturais ou não que ocorrem no solo.

No que se refere à granulometria, usualmente os grãos são classificados em três classes básicas: areia, silte e argila. A classificação proposta pela Sociedade Internacional de Ciências do Solo – ISSC é apresentada na Tabela 1.

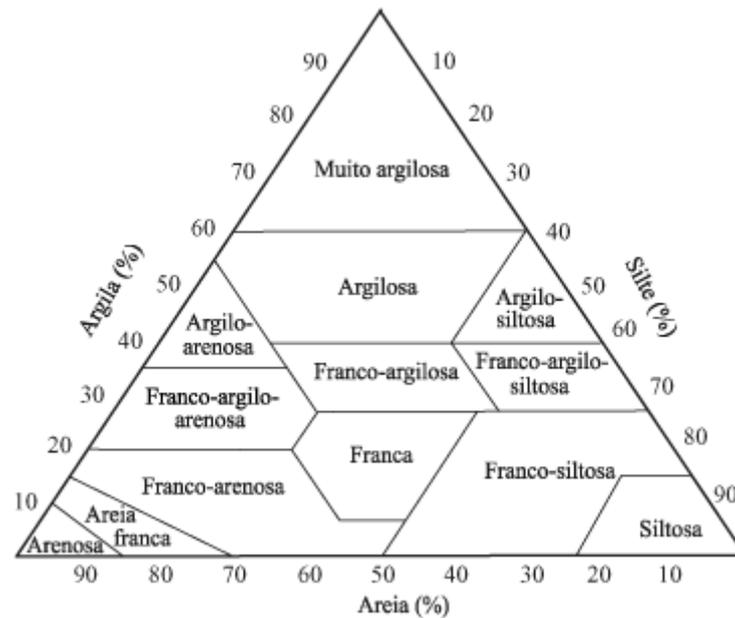
Tabela 1 – Classificação granulométrica, segundo a Sociedade Internacional de Ciência do Solo

Classificação	Tamanho dos grãos (diâmetro médio - mm)
Areia muito grossa	2,0 – 1,0
Areia grossa	1,0 – 0,5
Areia média	0,5 – 0,25
Areia fina	0,25 – 0,10
Areia muito fina	0,10 – 0,05
Silte	0,05 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: USDA, 1993.

As classes podem ser determinadas através do triângulo de texturas, proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Triângulo de classificação de textura do solo.



Fonte: USDA, 1993.

Propriedades Básicas do Solo

Massa específica das partículas do solo (ρ_p):

Dada pela razão entre a massa da fração sólida do solo (m_s) e o volume desta fração

$$(V_s) = \frac{m_s}{\rho_s} \quad (1)$$

Massa específica do solo (ρ_s):

É definida como a relação entre a massa de fração sólida do solo (m_s) e o volume total do solo (V_t), conforme equação:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (2)$$

Porosidade Aparente (η):

Quanto à porosidade total ou a porosidade de um solo η (%). Klar (1988) apresentou a seguinte relação entre a massa específica do solo (ρ_s) e a massa específica das partículas do solo (ρ_g):

$$\eta(\%) = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_g}\right) \times 100 \quad (3)$$

2.2.2 Propriedades hidrodinâmicas do solo

Curva característica

A relação entre o potencial de água no solo e a umidade do solo pode ser representada graficamente por uma curva que caracteriza o armazenamento de água pelo solo (RICHARDS, 1931). Essa representação gráfica é chamada de curva de retenção de água no solo. Em geral, a curva de retenção é também uma representação da função que correlaciona o volume de água dentro dos poros do solo e a energia necessária para extração dessa água pela ação de uma força de sucção (KLAR, 1988).

As curvas são diferentes para cada tipo de solo, pois está intimamente ligada à distribuição dos poros, que por sua vez está relacionada com pressão capilar. Solos arenosos apresentam poros maiores, que quando submetidos à sucção apresentam redução brusca da umidade. Em análise da curva de solos argilosos, o decréscimo da umidade é gradual, devido à redução dos poros e às forças iônicas entre partículas de solo e água.

Vários modelos foram desenvolvidos para descrever o comportamento da curva de retenção da água no solo (GARDNER, 1958; BROOKS & COREY, 1964; VAN GENUCHTEN, 1980; ZHANG & VAN GENUCHTEN, 1994). Dentre os mais citados na literatura estão:

a) A equação de van Genuchten (1980):

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = [1 + |ah|^n]^{-m} \quad (4)$$

Com, $m = 1-1/n$; $n > 1$ Mualem (1976) e $m = 1-2/n$; $n > 2$ Burdine (1953), sendo S_e a saturação efetiva; θ_r e θ_s a umidade volumétrica residual e saturada, respectivamente; $\alpha = 1/h_g$ onde h_g é pressão de entrada de ar e n e m parâmetros de forma.

b) A equação de Brooks e Corey (1964):

$$S_e = \left(\frac{h}{h_b}\right)^{-\eta} \quad (5)$$

Sendo $S_e \leq 1$, e η um parâmetro característico do solo, que indica a distribuição do tamanho dos poros (CHEN et al., 1999).

Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica é um parâmetro hidrogeológico que expressa a facilidade com que o solo pode conduzir a água. A condutividade hidráulica relaciona propriedades características do meio, tais como, porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas, associada as propriedades do fluido que está escoando, em especial a viscosidade e a massa específica.

A principal diferença entre o escoamento em meio saturado e em meio não-saturado está na condutividade hidráulica. Em regime de saturação, o solo possui todos os poros preenchidos por água e conduzindo água, apresentando uma condição de condutibilidade máxima do fluido. No meio não-saturado os poros encontram-se preenchidos por água e ar decrescendo a condutividade hidráulica nesta situação. Assim, a condutividade hidráulica é variável em função da umidade do solo, atingindo seu valor máximo na saturação, onde é chamada de condutividade hidráulica de saturação, K_s , ou K_o . Quando sob a condição de não saturação, se obtém a função $K(\theta)$, a qual recebe o nome de condutividade hidráulica do solo não-saturado. Para meios porosos saturados ou não-saturados, a maior dificuldade na quantificação do fluxo está na determinação da condutividade hidráulica (PAULETTO et al., 1988).

Os métodos de determinação direta da condutividade hidráulica dos solos podem ser classificados em métodos de laboratório e métodos de campo. Nos métodos de laboratório, podem ser utilizadas amostras com estrutura deformada ou

amostras com estrutura indeformada. Nos métodos de campo, como o próprio nome diz, as medidas são executadas no próprio campo e a perturbação do solo deve ser a mínima possível. Além disso, há outros métodos nos quais muitos pesquisadores, por causa de certas dificuldades envolvidas na medida direta da condutividade hidráulica, têm procurado calculá-la teoricamente, a partir de outras propriedades do meio poroso facilmente medido (LIBARDI, 2000).

Alguns dos métodos de laboratório são: permeâmetro de carga constante e o permeâmetro de carga decrescente; e de campo são: método do furo do trado, método do perfil instantâneo. Estes métodos para determinar diretamente a condutividade hidráulica em solo não saturado normalmente consomem tempo, são caros e, algumas vezes, sujeitos a hipóteses simplificadoras. Uma alternativa à medida direta é o cálculo teórico da condutividade hidráulica, a partir de dados de retenção da água no solo, mais facilmente medidos no campo ou no laboratório.

Dentre os modelos mais utilizados para a determinação da condutividade hidráulica não saturada, destacam-se:

- a) A equação de Van Genuchten (1980), com a hipótese de Mualem (1976):

$$K(S_e) = K_s S_e^{\frac{1}{2}} \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (6)$$

Segundo Libardi (2000) a equação (6) para a previsão da função $K(S_e)$ parece se ajustar melhor aos solos de textura média a arenosa.

Com a hipótese de Burdine (1953):

$$K(S_e) = K_s S_e^2 \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right] \quad (7)$$

- b) E a equação de Brooks e Corey (1964), com a hipótese de Burdine ($\lambda = n-2$):

$$K(S_e) = K_s S_e^\eta \quad (8)$$

Sendo, $\eta = 3 + \frac{2}{\lambda}$

Ou utilizando a hipótese de Mualem ($\lambda = n-1$):

$$K(S_e) = K_s S_e^{c-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

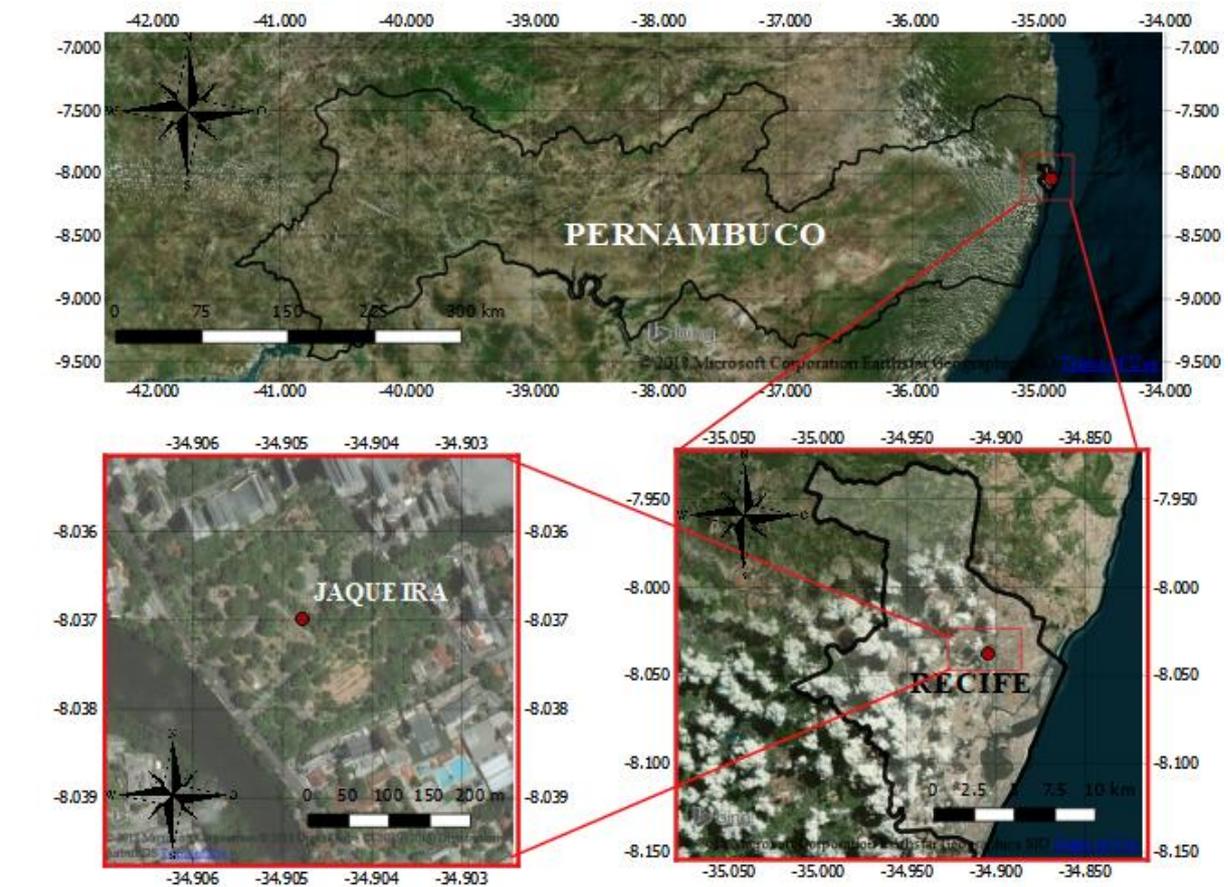
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será abordada a metodologia científica utilizada no trabalho.

3.1 DESCRIÇÃO DO SÍTIO EXPERIMENTAL

O trabalho foi conduzido no Parque da Jaqueira, zona norte do Recife, em razão de sua localização e importância social, numa área nobre e predominantemente residencial, situado no bairro da Jaqueira, entre a avenida Rui Barbosa e a rua do Futuro, confrontando no lado oposto com a Praça Souto Filho, tem área de aproximadamente 7 hectares, situando-se próximo ao paralelo $08^{\circ}02'12''$ Sul e do meridiano $34^{\circ}54'17''$ Oeste (Figura 2).

Figura 2 – Localização do Parque da Jaqueira no contexto da Cidade do Recife.



Fonte: Google Maps, 2018.

3.2 CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS

Para execução dos ensaios de infiltração foram selecionados 3 (três) locais dentro da área do parque. O primeiro de solo sem cobertura, muito frequentado pelas pessoas com suas crianças, o segundo também de solo sem cobertura, porém pouco frequentado, o terceiro de solo coberto por vegetação rasteira (gramas) e jardins, local de menor frequência de pessoas.

Foram realizados ensaios de infiltração no intuito de compor a análise do comportamento das propriedades hidrodinâmicas. Os trabalhos experimentais mediram as propriedades físico-hídricas do solo em 24 pontos aleatórios dentro da área escolhida indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Áreas e pontos de referência

	ÁREAS		
REFERENCIAL	P1(AC)	P2(ARI)	P3(JPU)
	PONTOS		
R1	P1R1	P2R1	P3R1
R2	P1R2	P2R2	P3R2
R3	P1R3	P2R3	P3R3
R4	P1R4	P2R4	P3R4
R5	P1R5	P2R5	P3R5
R6	P1R6	P2R6	P3R6
R7	P1R7	P2R7	P3R7
R8	P1R8	P2R8	P3R8

Fonte: O autor, 2017.

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Os ensaios de infiltração foram realizados utilizando um infiltrômetro de anel simples com 150 mm de diâmetro (Figura 3). Os ensaios consistem na anotação do tempo em que volumes de água adicionados continuamente (100 mL) levam para infiltrar, encerrando o ensaio quando o fluxo atinge o regime permanente, em média 17 volumes por ponto (Figura 4). Esses ensaios fornecem a infiltração tridimensional $I3D(t)$ em função do tempo (SOUZA et al., 2008). Durante os ensaios de infiltração foram coletadas amostras indeformadas para determinação da densidade do solo (ρ_s) e amostras deformadas para a determinação dos conteúdos volumétricos de água

inicial (θ_0) final (θ_s) e para a obtenção da curva granulométrica, que foi realizada utilizando-se o método da ABNT (1984), o qual permite determinar os diâmetros das partículas mais finas (argila e silte) por sedimentação e as mais grosseiras (areia) por peneiramento.

Figura 3 – Teste de infiltração tridimensional com infiltrômetro de anel simples (150 mm de diâmetro)



Fonte: O autor, 2017.

Figura 4 – Procedimento do ensaio de infiltração.



Fonte: O autor, 2017.

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA OBTENÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA

A curva granulométrica ou curva de distribuição dos tamanhos das partículas geralmente é obtida utilizando cinco frações granulométricas em média (argila, silte, areia fina, areia média e areia grossa). Para este trabalho, todas as frações foram consideradas, com objetivo de melhorar a precisão do ajuste da curva.

As amostras deformadas coletadas em cada um dos pontos para obtenção da curva granulométrica foram secadas ao ar e passadas por peneira de malha de 2,0 mm.

Em seguida, foi retirada uma alíquota de 70 g dessa amostra peneirada e colocada em um balão de Erlen Meyer, na qual foram acrescidos 125 mL de uma solução de hexametáfosfato de sódio (Figura 5). A mistura foi posta em agitação por 16 h em agitador horizontal tipo Wagner e após essa etapa, com ajuda de uma pinsseta, o conteúdo foi transferido para uma proveta, que é completada com água destilada até auferir o volume de 1000 mL. Cada amostra foi agitada 15 vezes antes de começar as leituras com densímetro (Figura 6). Os tempos de leituras foram: 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1 h, 2 h, 4 h, 8 h e 24 h. após as leituras, o solo de cada amostra é lavado em uma peneira de malha de 0,053mm, e a areia resultante foi colocada em estufa a 100° C por 24 h para secagem e posterior fracionamento.

Para o fracionamento da areia as amostras secas foram passadas por peneiras com as seguintes malhas: 1.0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,106 mm e 0,053 mm. A areia que foi retida em cada uma das peneiras é pesada para construção da curva (Figura 7).

Figura 5 – 125 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 6 – Leituras com densímetro. (Acervo próprio)



Fonte: O autor, 2017.

Figura 7 –Fracionamento das amostras por peneiramento mecanizado



Fonte: O autor, 2017

Determinação das Propriedades Hidráulicas

As propriedades hidráulicas do solo, ou seja, as curvas de retenção da água no solo, $\theta(h)$, e de condutividade hidráulica, $K(\theta)$, foram determinadas com emprego do método Beerkan.

Esse método vale-se de propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva de distribuição dos tamanhos das partículas e a curva de infiltração da água no solo, respectivamente, para obter os parâmetros (n , η , θ_s , K_s e h_g). Os detalhes do método incluindo os dados necessários para a sua aplicação, como também os procedimentos necessários para os cálculos, foram apresentados por Souza *et al.* (2008).

Nesse método, $\theta(h)$ e $K(\theta)$ são descritas, respectivamente, pelos modelos de van Genuchten (1980) e de Brooks & Corey (1964):

$$\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m} \quad (10)$$

Com: $m = 1 - \frac{2}{n}$ (BURDINE, 1953)

$$K(\theta) = K_s \cdot \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\eta \quad (11)$$

Sendo θ a umidade volumétrica [$L^3 L^{-3}$]; θ_r e θ_s as umidades volumétricas residual e saturada [$L^3 L^{-3}$], respectivamente; h o potencial matricial [L]; h_g [L] um valor de escala de h ; m e n são parâmetros de forma; K_s a condutividade hidráulica saturada do solo [$L T^{-1}$] e η o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica.

Essas funções contêm cinco parâmetros desconhecidos: dois parâmetros de forma (m ou n e η) e três parâmetros de normalização (θ_s , K_s e h_g). Os parâmetros de forma dependem principalmente da textura (HAVERKAMP *et al.*, 1998), enquanto os parâmetros de normalização resultam da estrutura dos solos. Obtiveram-se os parâmetros de forma e normalização usando-se o programa BEST (*Beerkan*

Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments) proposto por Lassabatère et al. (2006).

Com a determinação das propriedades hidráulicas oriundas do método Beerkan, utilizou-se apenas a condutividade hidráulica saturada para efetuar a classificação hidrológica do solo (Tabela 3), conforme classificação proposta por (RAWLS *et al.*, 1996).

Tabela 3. Classificação hidrológica em função da condutividade hidráulica saturada

Classificação Hidrológica	Condutividade Hidráulica Saturada
GRUPO A	Superior a 7,6 mm/h
GRUPO B	Maior que 3,8mm/h e menor que 7,6 mm/h
GRUPO C	Maior que 1,3 mm/h e menor que 3,8 mm/h
GRUPO D	Maior que 0 e menor que 1,3mm/h

Fonte: RAWLS et al., 1996.

Metodologia Beerkan

Nesta metodologia, são determinados os parâmetros das curvas de retenção da água no solo ($\theta(h)$) e de condutividade hidráulica do solo ($K(\theta)$) descritas pelos modelos de van Genuchten (1980) e de Brooks e Corey (1964) respectivamente:

$$\left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right) = \left[1 + \left(\frac{h}{hg}\right)^n\right]^{-m} \quad (12)$$

Com: $m = 1 - \frac{2}{n}$ (BURDINE, 1953)

$$k(\theta) = k_s \left(\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r}\right)^\eta \quad (13)$$

Sendo θ a umidade volumétrica [L^3L^{-3}]; θ_r e θ_s as umidades volumétricas residual e saturada [$L^3 L^{-3}$], respectivamente; h o potencial matricial [L]; hg [L] um valor de escala de h ; m e n são parâmetros de forma; K_s a condutividade hidráulica saturada do solo [$L T^{-1}$] e η o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica.

A metodologia Beerkan baseia-se nas propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva granulométrica e a curva de infiltração da água no solo, respectivamente, para obter os parâmetros (m, n, η, K_s, h_g).

Determinação dos parâmetros de forma (m, n e η)

Assumindo que há similaridade de forma entre a curva de distribuição do tamanho das partículas $F(D)$ e da curva de retenção da água no solo $\theta(h)$, Haverkamp & Parlange (1986) apresentaram a seguinte equação para expressar $F(D)$:

$$F(D) = \left[1 + \left(\frac{Dg}{D} \right)^N \right]^{-M} \quad (14)$$

Sendo $F(D)$ a distribuição do tamanho das partículas, D o diâmetro efetivo de uma partícula de solo [L], D_g o parâmetro de escala do tamanho das partículas [L], e M e N os parâmetros de forma da curva de distribuição do tamanho das partículas.

Os parâmetros de forma m e n da curva de retenção da água no solo, expresso pela equação 15, e η da curva de condutividade hidráulica, equação 16, foram obtidos a partir da textura do solo e, mais especificamente, a partir dos valores de M e N :

$$m = \frac{1}{P_m} (\sqrt{1 + P_m^2} - 1) \quad (15)$$

$$n = \frac{2}{1-m} \quad (16)$$

P_m é estimado a partir de M e N por (ZATARÁIN *et al.* 2003):

$$P_m = \frac{M.N}{1+M} (1 + \kappa)^{-1} \quad (17)$$

Sendo que κ um coeficiente definido por Fuentes *et al.* (1998):

$$\kappa = \frac{2s-1}{2s(1-s)} \quad (18)$$

Sendo S a dimensão fractal relativa. A dependência de s ($s = D_f/E$, na qual D_f é a dimensão fractal do solo e $E=3$ a dimensão de Euclides) com respeito à porosidade total do solo (θ) é definida por (FUENTES, 1992):

$$(1 - \theta)^s + \theta^s = 1 \quad \text{com } \frac{1}{2} < s < 1 \quad (19)$$

O parâmetro de forma da curva de condutividade hidráulica η é obtido pela equação proposto por Burdine (1953):

$$\eta = \frac{2}{nm} + 2 + P \quad (20)$$

Com o fator de tortuosidade $p=1$, Burdine (1953).

Determinação dos parâmetros de normalização (θ_s, K_s, h_g)

O parâmetro de normalização θ_s é obtido partir da umidade gravimétrica saturada (amostra coletada imediatamente após o ensaio de infiltração) e da densidade do solo (ρ_s). Os parâmetros de normalização K_s e h_g são obtidos a partir da modelagem das curvas de infiltração. Para uma fonte de água circular com dado potencial de pressão da água sobre uma superfície de solo (neste caso foi considerado igual a zero) uniforme e com umidade inicial uniforme (θ_0), a infiltração acumulada tridimensional $I(t)$ e a taxa de infiltração $q(t)$ podem ser aproximadas pelas equações para o regime de fluxo transitório (Equações 21 e 22) e estacionário (Equações 23 e 24) (HAVERKAMP et al., 1994):

$$I(t) = S\sqrt{t} + [aS^2 + bKs]t \quad (21)$$

$$q(t) = \frac{2}{2\sqrt{t}} + [aS^2 + bKs] \quad (22)$$

$$I+\infty(t) = [aS^2 + bKs]t + C \frac{S^2}{Ks} \quad (23)$$

$$q^{+\infty}(t) = q^{+\infty} = aS^2 + bKs \quad (24)$$

$$\text{Com, } a = \frac{\gamma}{r\Delta\theta} \quad (25)$$

$$b = \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^\eta + \frac{2-\beta}{3} \left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^\eta\right] \quad (26)$$

$$c = \frac{1}{2\left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)\right]^{(1-\beta)}} \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \quad (27)$$

Sendo S a sorvidade [$L T^{-1/2}$], r o raio do cilindro [L]; γ igual a 0,75 e β igual a 0,6. Para determinação de K_s e S , o BEST utiliza equações equivalentes às equações 21 e 22, obtidas pela substituição de K_{sem} função da sorvidade S_e da taxa de infiltração no regime estacionário $q^{+\infty}$, equação 24 nas equações 21 e 22:

$$I(t) = S\sqrt{t} + [a(1-b)S^2 + bq + \infty]t \quad (28)$$

$$q(t) = \frac{2}{2\sqrt{t}} + [a(1-b)S^2 + bq + \infty] \quad (29)$$

Válidos para t_k menores que $t_{max}(k)$. Dos valores que cumprirem esta condição, serão escolhidos aqueles correspondentes ao maior k . Após a determinação de θ_s e K_s , o parâmetro h_g é obtido pela seguinte equação (LASSABATÈRE et al., 2006):

$$f_1(S, K_s, K) = \sum_{i=1}^k [I_{exp}(t_i) - I(t_i)]^2 \quad (30)$$

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k [I_{exp}(t_i) - I(t_i)]^2}{\sum_{i=1}^k (I_{exp}(t_i))^2}} \quad (31)$$

Inicialmente, o BEST estima um valor máximo para a sorvidade, S_{MAX} , a partir do ajuste dos dados experimentais com a Equação 28, caso em que se assume um fluxo de água dependente apenas da capilaridade, considerando-se b igual a zero. Como as Equações. 20, 21, 28 e 29 são válidas apenas para o regime transitório, é possível que os ajustes não sejam feitos para todos os valores de k ; a sorvidade é,

então, estimada para valores de k de no mínimo cinco pontos para um máximo de N_{tot} . S_{MAX} é considerada o valor máximo de toda a sequência de pontos. Para obter valores positivos de K_s , levam-se em consideração as seguintes condições: S_{MAX2} deve ser menor que a taxa de infiltração no regime estacionário ($q+\infty$) dividido pelo coeficiente a (Equação 25), assim, a sorvidade máxima S_{MAX} é definida por:

$$S_{MAX} = \text{MAX} \left[\text{MIN} \left(S_{\text{Obs}}(b = 0), \sqrt{\frac{q+\infty}{a}} \right) \right] \quad (32)$$

Para obtenção de K_s , considera-se o valor verdadeiro de b (Equação 26). O ajuste é executado minimizando a função objeto definida pela Equação 30. Como os ajustes pela Equação 28 nem sempre são válidos para todos os pontos ($0 \dots k$), o BEST ajusta os dados para um mínimo de cinco pontos a um máximo de N_{tot} . Para cada subconjunto de dados que contém os k primeiros pontos, o BEST estima a sorvidade $S(k)$, a condutividade hidráulica $K_s(k)$ em função de $S(k)$ e da Equação 24 para um tempo máximo $t_{max}(k)$ definido como:

$$T_{max} = \frac{1}{4(1-b)^2} t_{grav} \quad (33)$$

Sendo t_{grav} o tempo gravimétrico definido por Philip (1969). O $t_{max}(k)$ é o tempo máximo para o qual as expressões para o regime transitório são consideradas válidas; logo, o tempo mais longo do subconjunto de dados t_k é comparado com $t_{max}(k)$. Os valores de $S(k)$ e $K_s(k)$ são considerados na qual c_p é um parâmetro que depende apenas dos parâmetros de formas n , m e η dos modelos (de CONDAPPA et al., 2002; LASSABATÈRE et al., 2006):

$$hg = \frac{S^2}{c_p(\theta_s - \theta_0) \left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^\eta \right]_{k_s}} \quad (34)$$

$$C_p = \Gamma \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left[\frac{\Gamma(n\eta + \frac{1}{n})}{\Gamma(n\eta)} + \frac{\Gamma(n\eta + m - \frac{1}{n})}{\Gamma(n\eta + m)} \right] \quad (35)$$

Sendo Γ a função gama clássica.

3.5 ESCALAS CARACTERÍSTICAS

Durante o processo de infiltração tridimensional os fatores que podem afetar o fluxo de entrada de água no solo, são: a geometria da fonte de água, a capilaridade e a gravidade. Os referidos fatores são caracterizados pelas escalas de comprimento capilar, λ_c [L] (WHITE & SULLY, 1987) e o raio característico de poros hidraulicamente ativos, λ_m [L] (PHILIP, 1987) determinados, respectivamente, pelas equações:

$$\lambda_c = \frac{\delta S^2}{(\theta_s - \theta_0) k_s} \quad (36)$$

$$\lambda_m = \frac{\sigma}{\rho a g \lambda_c} \quad (37)$$

Sendo σ a tensão superficial da água (0,0719 N m⁻¹), ρ_a a massa específica da água (1000 Kg m⁻³), g a aceleração da gravidade (9,81 m s⁻²) e δ um parâmetro de forma da difusividade ($1/2 \leq \delta \leq \pi/4$), que foi considerado igual a 0,55 (WHITE & SULLY, 1987).

3.6 O MODELO HYDRUS

O Hydrus é um programa computacional que simula a dinâmica da água, o transporte de calor e de solutos em solos saturados e não saturados, cultivados ou não. Para a simulação dos processos de transferência de água, o Hydrus resolve numericamente as equações de Richards, com o uso de elementos finitos (ALVES, 2009).

A rotina para a dinâmica da água em um meio poroso unidimensional, isotérmico, parcialmente saturado é descrito por uma forma modificada da Equação de Richards (Equação 38) pelo qual não se considera os efeitos da fase gasosa e do gradiente térmico no fluxo da água. Na qual, h é o potencial mátrico da água no solo,

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \cos \alpha \right) \right] - S \quad (38)$$

L ; θ é a umidade volumétrica da água, $L^3 L^{-3}$; t é o tempo. T ; x é a coordenada espacial, L ; S é um termo de sumidouro, $L^3 L^{-3} T^{-1}$; α é o ângulo entre a direção do fluxo e o eixo vertical (ou seja, $\alpha=0^\circ$ para fluxo vertical. 90° para fluxo horizontal e $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ para fluxo inclinado).

As propriedades hidráulicas de um solo não saturado, $\theta(h)$ e $K(h)$, são de maneira geral funções não lineares do potencial mátrico ou da umidade volumétrica.

O programa HYDRUS-1D permite o uso de 5 modelos analíticos para as propriedades hídricas: Brooks e Corey(1964); Van Genutchen (1980); Vogel e Cislárová (1988), Kosugi (1996); e Durner (1994).

3.7 HIPÓTESES E CONSIDERAÇÕES ADOTADAS NAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS UTILIZANDO O HYDRUS 1-D

Para a simulação hidráulica dos processos de transferência de água nas diversas superfícies, utilizou-se como condição de contorno na fronteira superior as condições atmosféricas. Na condição de fronteira inferior foram utilizadas as condições de drenagem livre e de presença do lençol freático.

No tocante a fronteira superior sujeita às condições atmosféricas, foram utilizadas como variáveis, séries de precipitação pluviométrica e de evapotranspiração de referência diária para a cidade do Recife para a estação do bairro da Várzea da APAC/LAMEPE.

Utilizando o HYDRUS 1-D foram simulados os seguintes aspectos:

- Para todos os casos, o modelo adotado para descrever as propriedades hidráulicas do solo foi o de Van Genutchen (1980).
- Foram efetuados os ajustes do modelo de distribuição dos poros de Burdine para o modelo de distribuição dos poros de Mualem. Tal mudança foi realizada pelo fato do método Beerkan determinar os parâmetros hidrodinâmicos usando a hipótese de Burdine. No entanto, o modelo Hydrus resolve a equação de Richards (1931), usando as equações para a curva de retenção e para a curva de condutividade, com a hipótese de Mualem.

- A condição inicial utilizada para as três superfícies foram as mesmas correspondentes a capacidade de campo.
- Foram construídos três perfis de solo no modelo Hydrus, utilizando a ferramenta “Soil Profile-Grafical editor”. Cada perfil com um metro de espessura e dividido em 600 nós.
- A condição de Fronteira inferior foi a de drenagem livre.

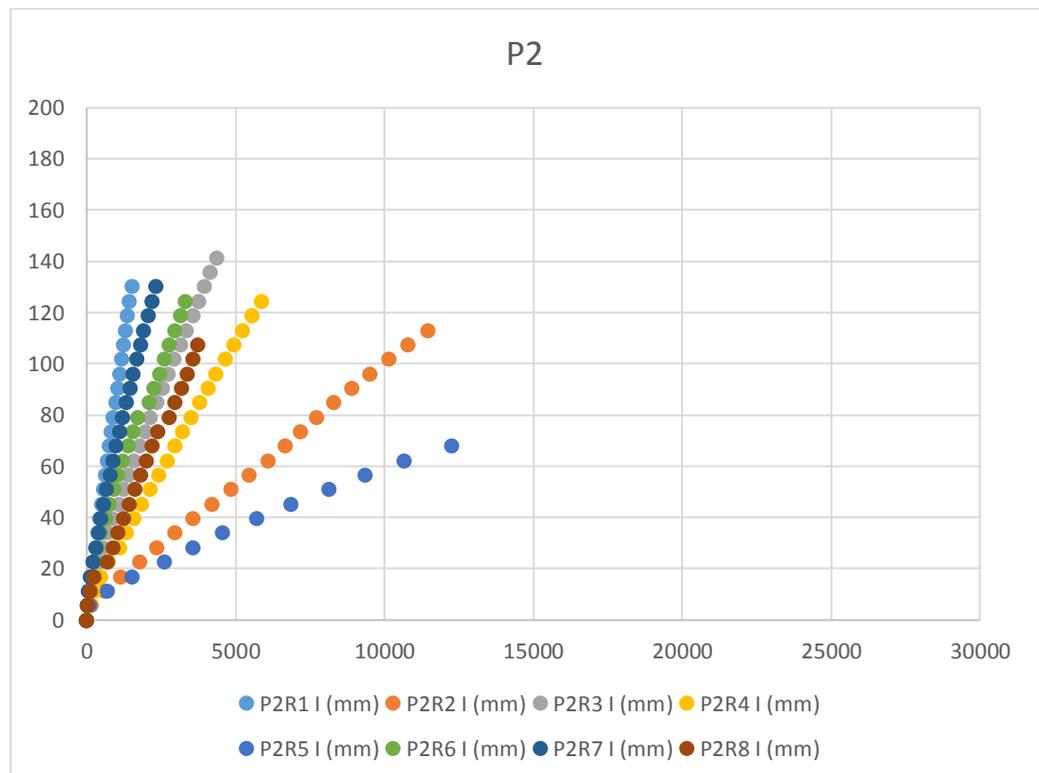
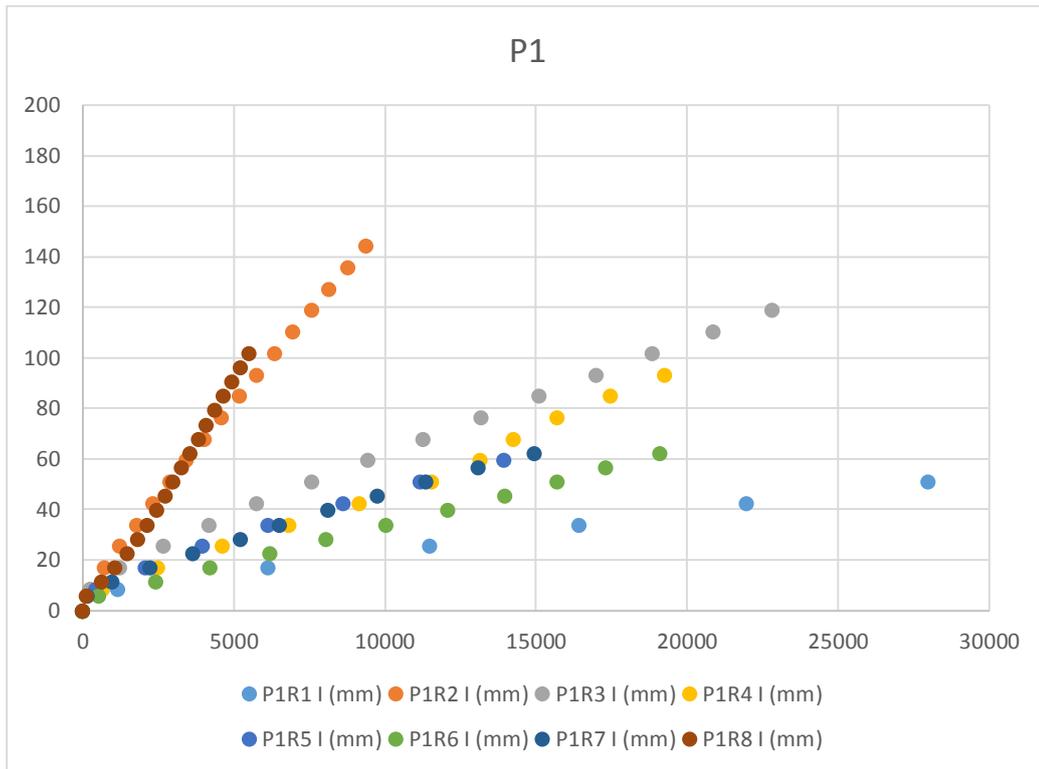
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

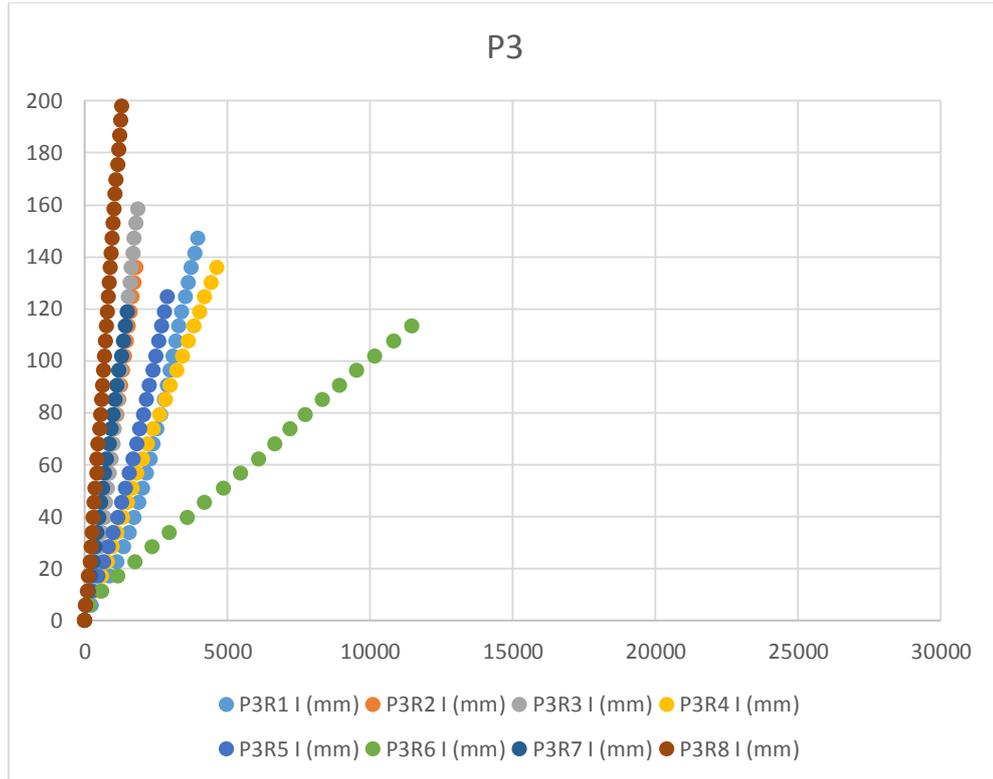
Na Figura 8 são apresentadas as lâminas infiltradas acumuladas para as três superfícies estudadas no parque da jaqueira. Observa-se que para a área destinada a recreação infantil a lâmina infiltrada acumulada máxima foi de 141,47 mm para um tempo de 4364 segundos e a mínima de 67,90 mm para um tempo total de estabilização de 12275 segundos. Analogamente, o jardim do parque apresentou uma lâmina máxima infiltrada de 198,06 mm em 1288 segundos e uma lâmina mínima de 113,18 mm em 11463 segundos.

As superfícies relacionadas às áreas de convivência foi a que apresentou a menor lâmina infiltrada acumulada, com 50,93 mm infiltrados em 27980 segundos. A lâmina infiltrada acumulada máxima para essa superfície foi de 118,84 mm para 22815 segundos. As curvas de infiltração acumulada para os jardins apresentam inclinação mais acentuada na sua parte final, caracterizando uma maior velocidade de infiltração, mesmo para as durações próximas ao final do ensaio.

De um modo geral, nota-se que nos Jardins foram encontradas as maiores capacidades de infiltração e nas áreas de convivência as menores. Isso se deve ao fato de que as áreas de convivência são mais submetidas a intervenções antrópicas como pisoteamento em atividades de recreação.

Figura 8 - Curvas de infiltração acumulada em função do tempo para os oitos ensaios realizados.





Fonte: O autor, 2017.

Na maioria dos ensaios de infiltração a duração do teste variou de acordo com a Tabela 4. Cerca de 10 ensaios duram mais de dez mil segundos, com os ensaios realizados no jardim estando presente de uma maneira geral uma duração máxima entre 4000 e 5000 segundos. Além disso, os ensaios realizados na área de convivência que visualmente apresentavam um aspecto mais compactado apresentaram durações maiores 5001 segundos.

Tabela 4. Variação do tempo de infiltração em todos os pontos

Variação do tempo (s)	Pontos
Entre 1001 e 2000	P2R1 – P3R2 – P3R3 – P3R7 - P3R8
Entre 2001 e 3000	P2R7 – P3R5 – P3R6
Entre 3001 e 4000	P2R6-P2R8 – P3R1
Entre 4001 e 5000	P2R3 – P3R4
Entre 5001 e 6000	P1R8 – P2R4
Entre 9001 e 10000	P1R2
Entre 11001 e 12000	P2R2
Entre 12001 e 13000	P2R5
Entre 13001 e 14000	P1R5
Entre 14001 e 15000	P1R7
Entre 19001 e 20000	P1R4 – P1R6
Entre 21001 e 22000	P1R3
Entre 27001 e 28000	P1R1

Fonte: O autor, 2017.

A maior parte dos pontos apresentaram lâminas infiltradas acumuladas entre 101 e 150 milímetros.

Tabela 5 – Variação da lâmina de infiltração em todos pontos

Variação da Lâmina acumulada (mm)	Pontos
Entre 01 e 50	P1R1
Entre 51 e 100	P1R5 – P2R5 – P1R4 – P1R6 – P1R7
Entre 101 e 150	P1R2 – P1R3 – P1R8 – P3R1 - P3R2 – P3R4 – P3R5 P3R6 - P3R7 –P2R1– P2R2 - P2R3 - P2R4P2R6 – P2R7 – P2R8
Entre 151 e 200	P3R3
Entre 201 e 250	P3R8

Fonte: O autor, 2017.

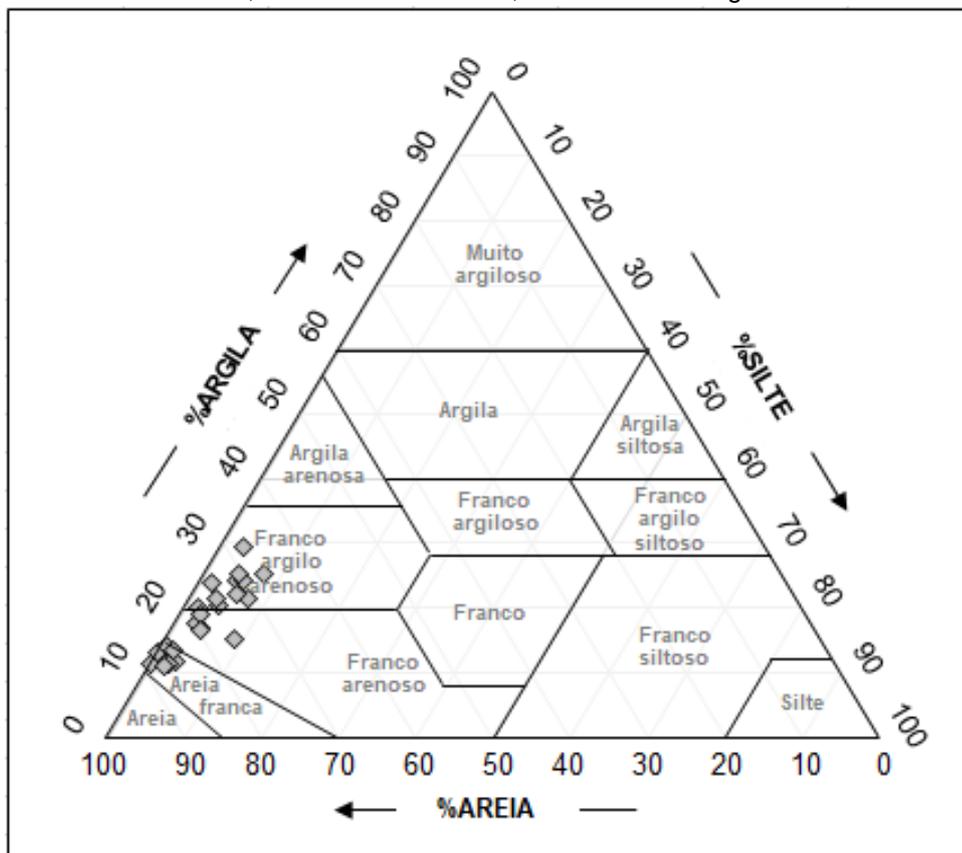
Analisando as densidades das amostras verificamos que os maiores valores foram encontrados na área P1 (área de convivência) e na área P2 (área de recreação infantil) e os menores valores na área P3 (área de jardim).

Isso já era esperado, em razão de termos selecionados locais de muito movimento de pessoas (ÁREAS P1 e P2) que implica em solo mais compactado e local de pouco movimento (ÁREA P3), solo menos compactado.

Dos 8 ensaios realizados em cada uma das três áreas, a predominância granulométrica na área P1 por pontos são: (1) areia franca e (7) franco-argilo-arenoso, na área P2, (7) areia franca e (1) franco arenoso e na área P3, (4) franco-argilo-arenoso e (4) franco arenoso (Figura 9).

Ou seja, é observado maior percentual de franco-argilo-arenoso na área P1, areia franca na área P2 e igual percentual entre solos franco-argilo-arenoso e franco arenoso na área P3 (Tabela 6).

Figura 9 – Classes texturais dominantes dos solos nos pontos ensaiados nas áreas P1, P2 e P3. ArF: Areia Franca; FA: Franco Arenoso; FAAr: Franco Argilo Arenoso.



Fonte: O autor, 2017.

Tabela 6. Percentuais de Areia, Silte, Argila, Massa específica do solo e Classificação Textural para as superfícies de Área de convivência, Área de recreação infantil e Jardins no parque da Jaqueira.

Uso da superfície	Ponto	Areia(%)	Silte(%)	Argila(%)	ρ (g/cm ³)	Classificação Textural
Área de convivência - AC	P1R1	85,88	12,33	1,79	1,59	Areia-franca
	P1R2	71,07	24,28	4,65	1,60	Franco-argilo-arenoso
	P1R3	70,18	24,11	5,72	1,34	Franco-argilo-arenoso
	P1R4	67,12	25,45	7,43	1,57	Franco-argilo-arenoso
	P1R5	67,68	29,58	2,74	1,63	Franco-argilo-arenoso
	P1R6	78,19	20,01	1,79	1,58	Franco-argilo-arenoso
	P1R7	75,42	20,50	4,08	1,67	Franco-argilo-arenoso
	P1R8	70,86	21,59	7,54	1,29	Franco-argilo-arenoso
Área de recreação infantil - ARI	P2R1	85,44	11,58	2,98	1,54	Areia-franca
	P2R2	76,07	15,16	8,77	1,58	Franco-arenoso
	P2R3	86,80	13,18	0,02	1,66	Areia-franca
	P2R4	86,18	11,40	2,41	1,69	Areia-franca
	P2R5	85,36	14,08	0,57	1,54	Areia-franca
	P2R6	88,65	11,28	0,07	1,58	Areia-franca
	P2R7	87,08	11,07	1,85	1,66	Areia-franca
	P2R8	84,70	13,51	1,79	1,69	Areia-franca
Jardins de parque urbano - JPU	P3R1	74,44	23,76	1,79	1,22	Franco-argilo-arenoso
	P3R2	79,48	17,04	3,48	1,22	Franco-arenoso
	P3R3	79,82	17,50	2,68	1,22	Franco-arenoso
	P3R4	75,03	21,54	3,43	1,38	Franco-argilo-arenoso
	P3R5	78,31	18,95	2,74	1,25	Franco-arenoso
	P3R6	72,05	22,23	5,72	1,41	Franco-argilo-arenoso
	P3R7	79,67	16,74	3,59	1,42	Franco-arenoso
	P3R8	70,26	25,19	4,55	1,35	Franco-argilo-arenoso

Fonte: O autor, 2017.

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros de forma n , m , η e C_p , para as superfícies no Parque da Jaqueira. Para a classe textural Franco-argilo-arenosa, na área de convivência, parâmetro de forma n da curva de retenção apresentou valores entre 2,22 e 2,29. Souza *et al.* (2008) determinaram para essa mesma classe textural um valor de n igual a 2,12.

Para a área de recreação infantil, com classificação textural predominantemente do tipo areia franca, o fator de forma variou entre 2,28 e 2,57. Em estudos realizados por Souza *et al.* (2008), encontrou-se valores de n de 2,31 e η igual a 9,54. No entanto, no trabalho desenvolvido por Santos *et al.* (2012), o fator de forma n foi de 2,569 e o de η foi de 6,622.

Tabela 7 - Parâmetros de forma n , m , η e C_p para as superfícies no Parque da Jaqueira.

Ponto	n	m	η	C_p
AC - P1R1	2,451	0,184	7,435	1,954
AC - P1R2	2,295	0,128	9,783	2,146
AC - P1R3	2,239	0,107	11,374	2,246
AC - P1R4	2,305	0,132	9,556	2,130
AC - P1R5	2,373	0,157	8,368	2,038
AC - P1R6	2,371	0,156	8,391	2,040
AC - P1R7	2,346	0,147	8,785	2,072
AC - P1R8	2,221	0,100	12,050	2,282
Média	2,3251	0,1389	9,4678	2,1135
Desvio Padrão	0,0834	0,0304	1,6304	0,117
Coefficiente de variação(%)	27,863	4,569	5,8071	18,057
ARI-P2R1	2,457	0,186	7,376	1,949
ARI-P2R2	2,285	0,125	10,020	2,162
ARI-P2R3	2,505	0,201	6,963	1,908
ARI-P2R4	2,490	0,197	7,080	1,920
ARI-P2R5	2,352	0,150	8,685	2,064
ARI-P2R6	2,571	0,222	6,502	1,860
ARI-P2R7	2,560	0,219	6,573	1,867
ARI- P2R8	2,460	0,187	7,346	1,946
Média	2,46	0,1859	7,566	1,9595
Desvio Padrão	0,0982	0,033	1,198	0,1034
Coefficiente de Variação(%)	25,043	5,5866	6,307	18,945
JPU-P3R1	2,350	0,149	8,707	2,066
JPU-P3R2	2,382	0,160	8,232	2,027
JPU-P3R3	2,365	0,154	8,486	2,048
JPU-P3R4	2,330	0,142	9,064	2,094
JPU-P3R5	2,354	0,150	8,650	2,061
JPU-P3R6	2,263	0,116	10,607	2,200
JPU-P3R7	2,311	0,135	9,430	2,121
JPU-P3R8	2,319	0,137	9,278	2,110
Média	2,33	0,1429	9,056	2,091
Desvio Padrão	0,0373	0,0138	0,745	0,0543
Coefficiente de Variação(%)	62,6	10,385	12,156	38,523

Fonte: O autor, 2017.

Na tabela 8 é apresentada a sorvidade, condutividade hidráulica saturada, umidade volumétrica na saturação e comprimento capilar para as superfícies do parque da Jaqueira. Observa-se que a sorvidade para a superfície 1 apresentou um mínimo de $0,12 \text{ mm/s}^{0,5}$ e um valor máximo de $0,4229 \text{ mm/s}^{0,5}$.

A sorvidade é um parâmetro hidrodinâmico que depende das condições iniciais de umidade do solo. A variabilidade observada em todos os pontos ensaiados

apresenta relação direta com a umidade inicial do solo, no momento de realização do ensaio.

Para a superfície cujo uso é destinado a área de convivência, a maioria das repetições apresentou valores de condutividade hidráulica saturada que permitem efetuar uma classificação hidrológica da superfície no grupo A do SCS, com apenas um ponto com classificação no grupo B do SCS.

O único ponto que apresentou classificação hidrológica do tipo B representa a textura areia Franca. Esse resultado demonstra a influência da textura na estrutura do solo, impactando de maneira macroscópica na classificação hidrológica, que por sua vez representa de maneira indireta o funcionamento da superfície com relação ao processo de escoamento superficial e ao processo de infiltração.

Para as superfícies cujo uso é respectivamente a área de recreação infantil e o Jardim Público Urbano, a condutividade hidráulica saturada conduziu a um grupo hidrológico do tipo A.

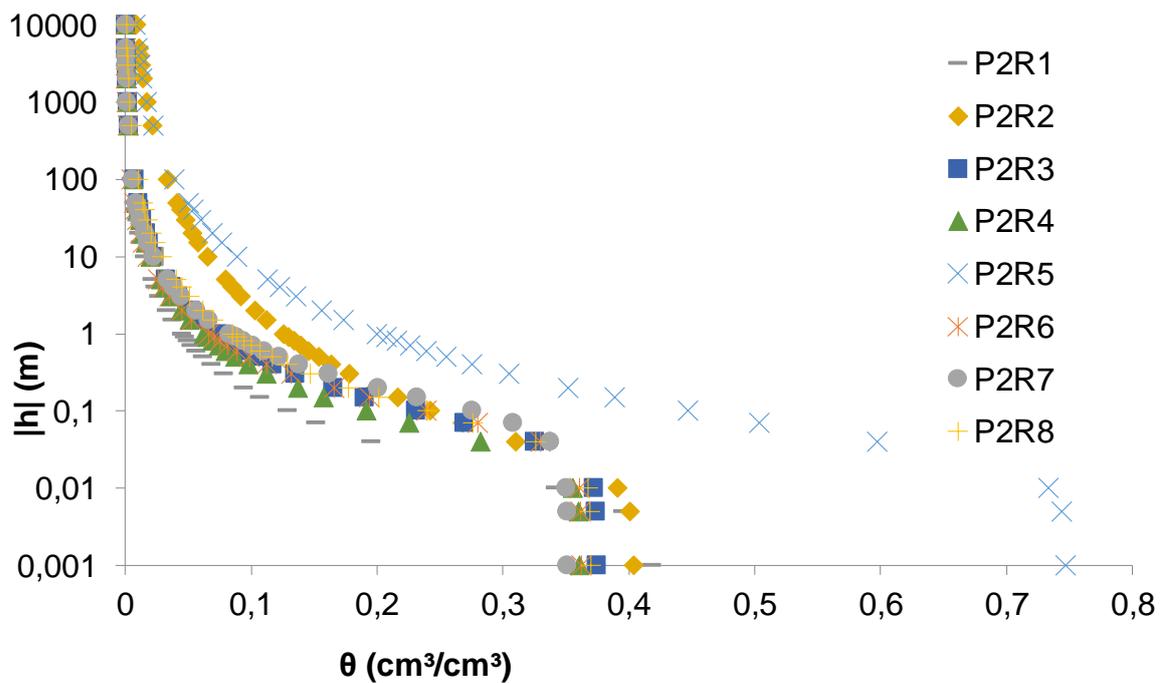
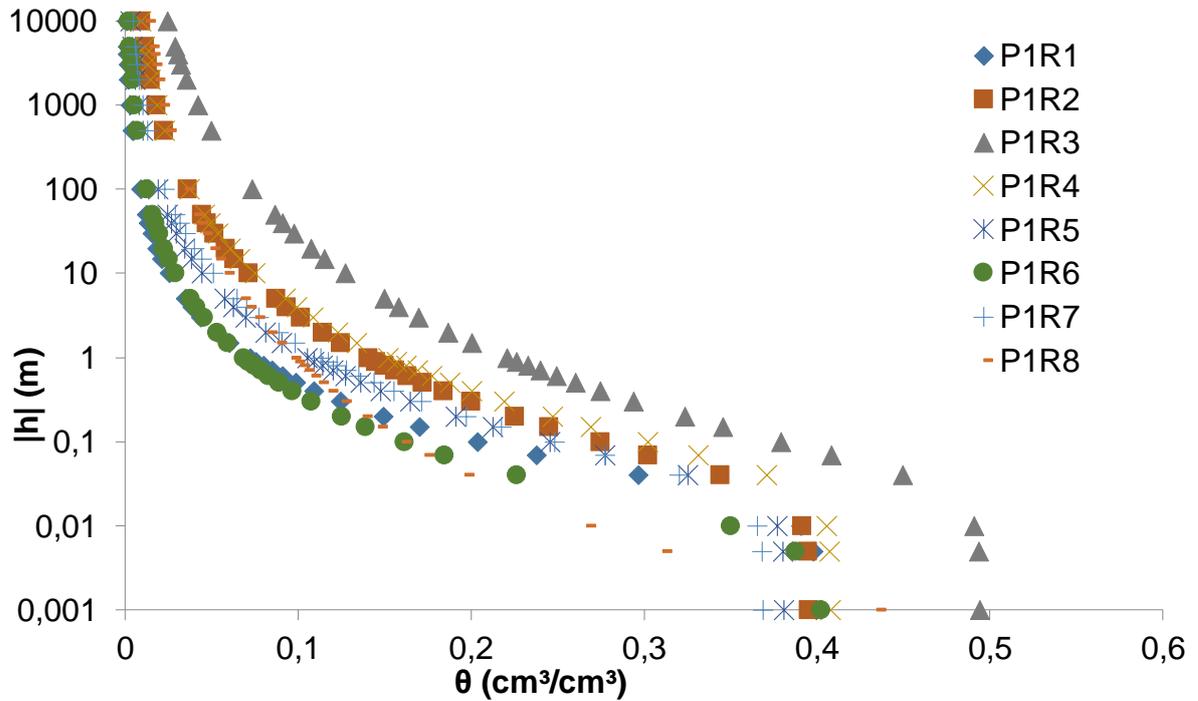
Tabela 8 – Sorvidade, condutividade hidráulica saturada, umidade volumétrica na saturação e comprimento capilar para as superfícies do parque da jaqueira

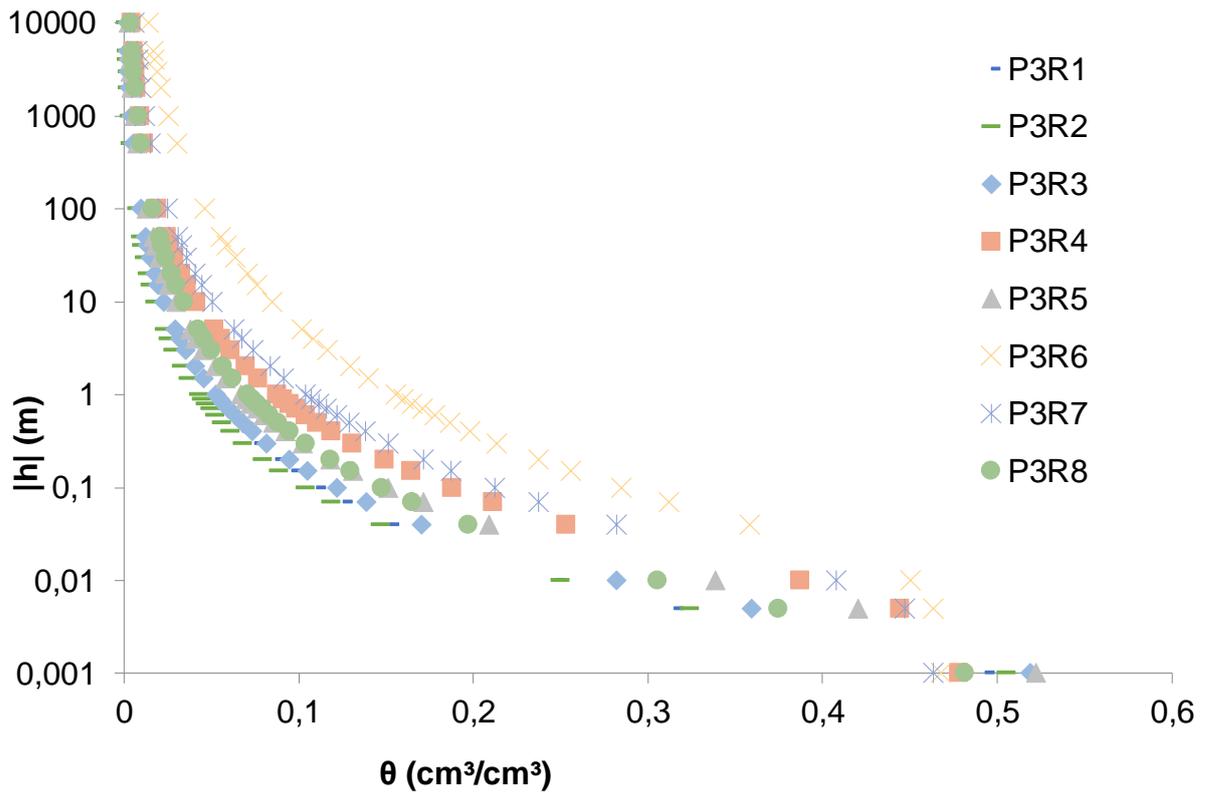
Ponto	S (mm/s ^{0,5})	K _s (mm/s)	Ks(mm/h)	θ _s (cm ³ /cm ³)	h _g (mm)	Classificação Hidrológica
AC-P1R1	0,1327	0,00113	4,07	0,400	-22,659	B
AC-P1R2	0,4229	0,00812	29,32	0,396	-29,859	A
AC-P1R3	0,2989	0,00271	9,76	0,495	-34,193	A
AC-P1R4	0,2963	0,00267	9,612	0,408	-39,285	A
AC-P1R5	0,2333	0,00228	8,21	0,381	-31,693	A
AC-P1R6	0,1432	0,00299	10,76	0,403	-8,538	A
AC-P1R7	0,2233	0,00213	7,67	0,369	-32,931	A
AC-P1R8	0,1274	0,02845	102,42	0,513	-0,523	A
Média	0,2348	0,006	22,71	0,4206	-24,96	A
Desvio Padrão	0,106	0,009	33,09	0,0532	13,60	
ARI-P2R1	0,6578	0,07135	256,86	0,419	-7,611	A
ARI -P2R2	0,3113	0,00705	25,38	0,404	-16,832	A
ARI- P2R3	0,6956	0,01747	62,892	0,374	-39,922	A
ARI- P2R4	0,4791	0,01229	44,244	0,361	-27,806	A
ARI- P2R5	0,3106	0,00297	10,962	0,747	-23,547	A
ARI-P2R6	0,8156	0,02011	72,396	0,362	-51,566	A
ARI-P2R7	0,9767	0,01941	69,876	0,351	-75,953	A
ARI-P2R8	0,5933	0,01251	45,036	0,370	-40,874	A
Média	0,605	0,0204	73,42	0,4235	-35,51	A
Desvio Padrão	0,234	0,0214	0,214	0,133	21,62	
JPU-P3R1	0,1736	0,02791	100,48	0,540	-1,090	A
JPU-P3R2	0,3392	0,08518	306,65	0,540	-1,338	A
JPU-P3R3	0,2955	0,04997	179,89	0,540	-1,696	A
JPU-P3R4	0,3300	0,02217	79,812	0,479	-5,827	A
JPU-P3R5	0,3342	0,04235	152,46	0,528	-2,920	A
JPU-P3R6	0,3143	0,00719	25,884	0,468	-15,198	A
JPU-P3R7	0,6615	0,06320	227,52	0,464	-8,138	A
JPU-P3R8	0,5274	0,15061	542,2	0,491	-2,296	A
Média	0,372	0,0561	201,86	0,5063	-4,813	A
Desvio Padrão	0,152	0,045	163,24	0,034	4,862	

Fonte: O autor, 2017.

Nas Figuras 10 e 11 são apresentadas as curvas de retenção e as curvas de condutividade hidráulica para os oitos pontos ensaiados de cada superfície no Parque da Jaqueira. Observa-se elevada heterogeneidade nas curvas.

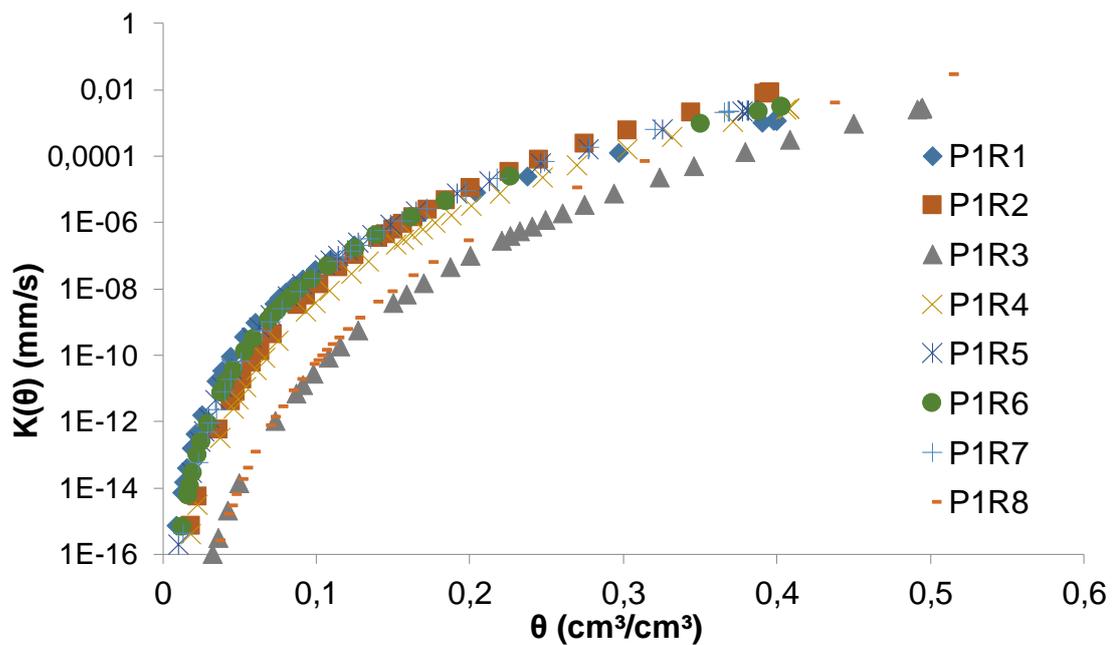
Figura 10 – Curvas de retenção para os ensaios realizados no Parque da Jaqueira.

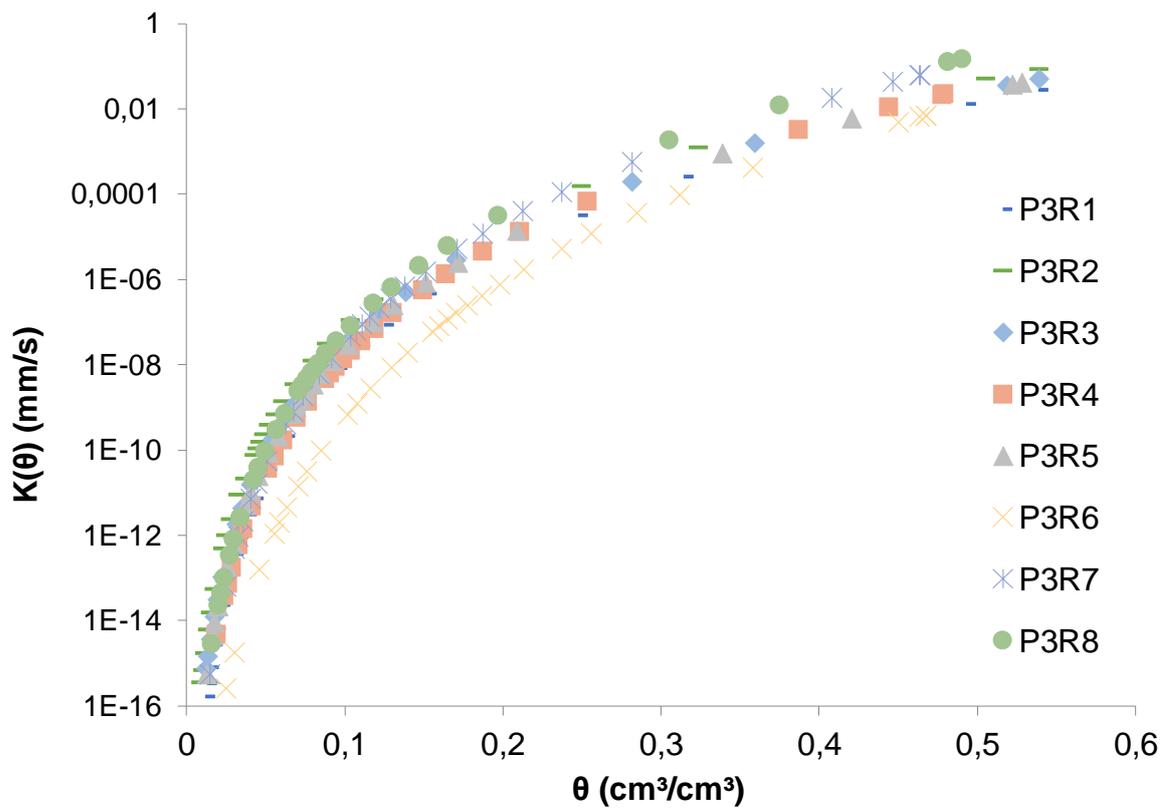
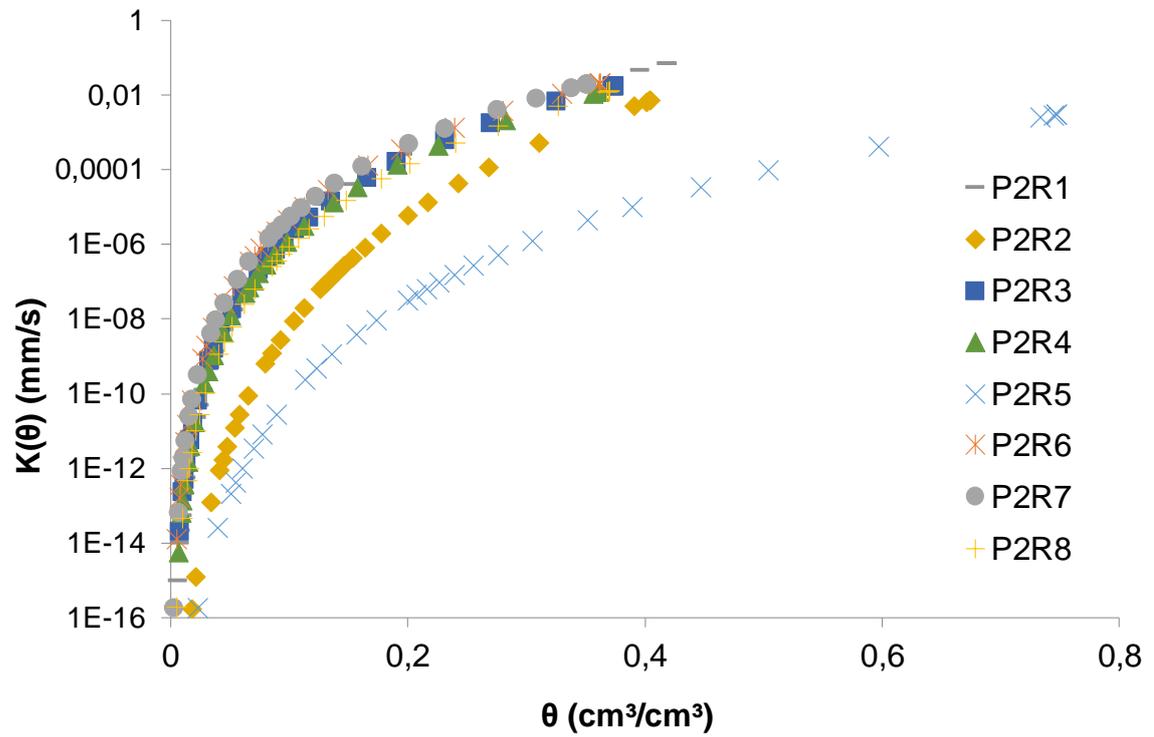




Fonte: O autor, 2017.

Figura 11 – Curvas de condutividade hidráulica para os ensaios realizados no Parque da Jaqueira.



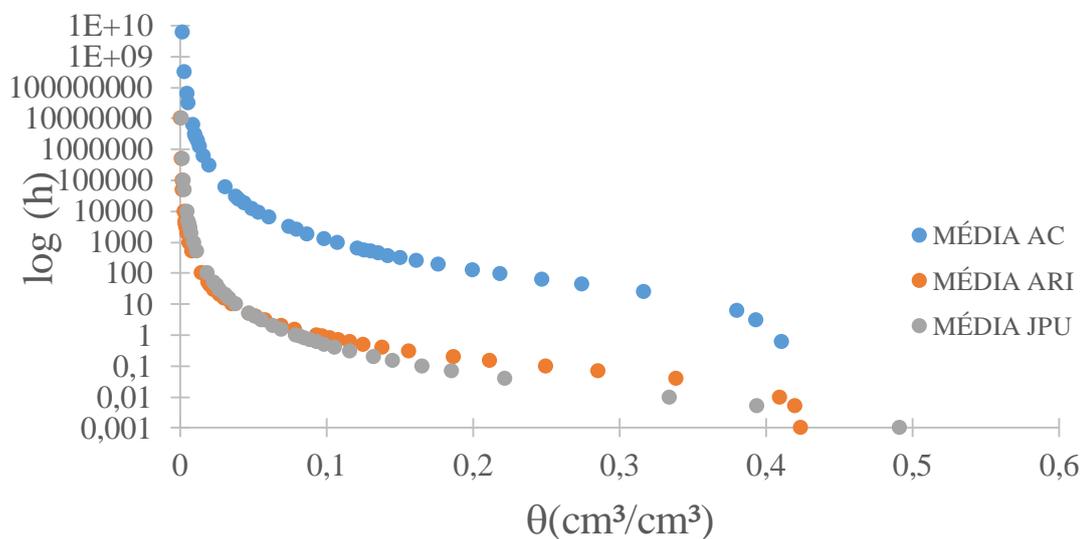


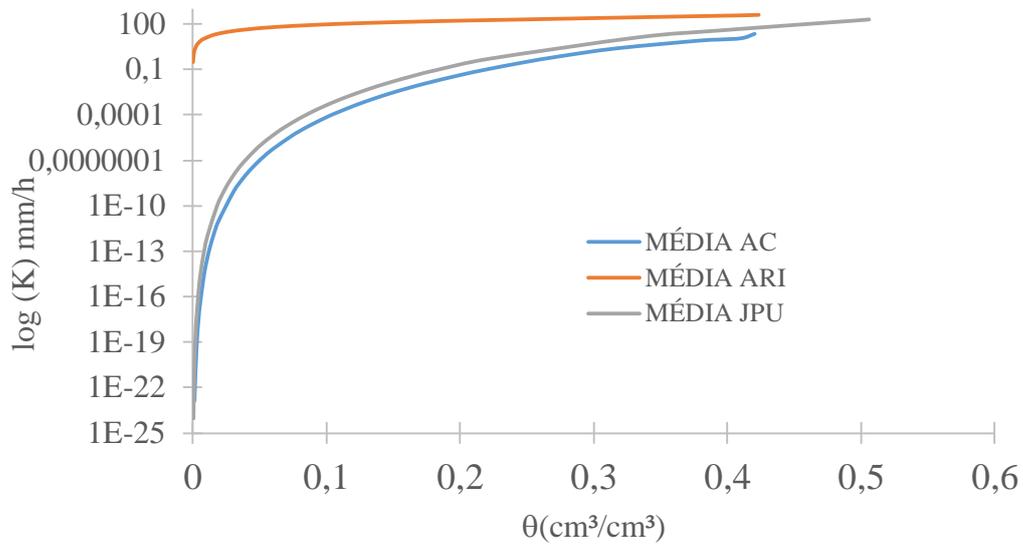
Na Figura 12 são apresentadas curvas de retenção e a curva de condutividade média para os solos da área de recreação, jardim urbano e área de convivência. Observa-se que para um mesmo potencial matricial, em média, a superfície denominada área de convivência possui maior capacidade de retenção de água que a área de recreação infantil e que o jardim público urbano.

De maneira geral, a área de recreação infantil apresenta maior capacidade de retenção que o jardim urbano. Para umidades menores que $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, o jardim urbano apresenta armazenamento de água levemente superior a área de recreação infantil.

No tocante a capacidade de condução de água, a área de recreação infantil apresenta maior condutividade hidráulica que as demais superfícies. Tal fato não se observa apenas para a condutividade hidráulica saturada do Jardim urbano. Nesse caso, nota-se que para uma umidade volumétrica maior que $0,4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, a capacidade de condução do jardim urbano supera as demais superfícies.

Figura 12 – Curvas de retenção médias para os solos da área de recreação, jardim urbano e área de convivência



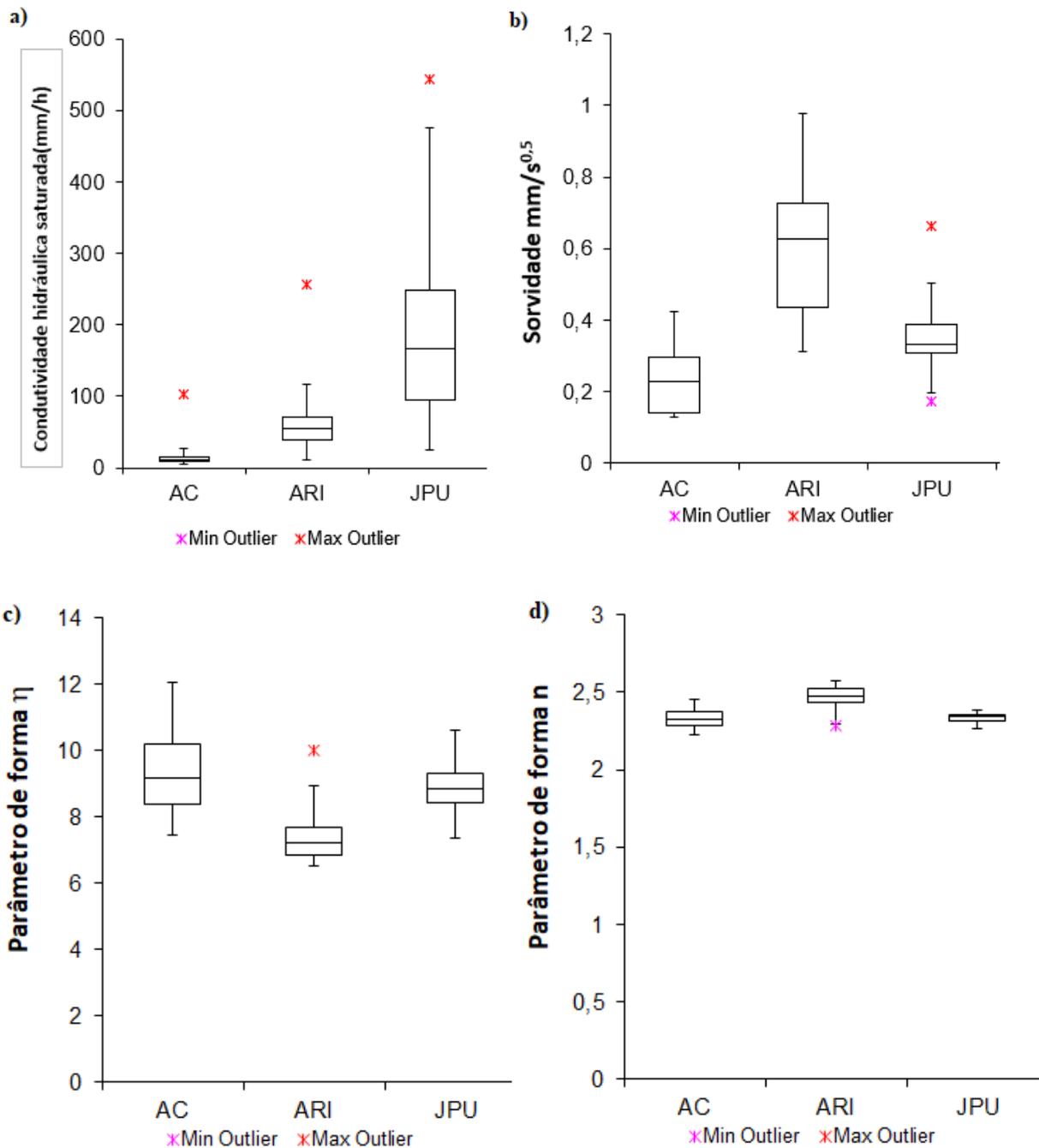


Fonte: O autor, 2014.

Na Figura 13, são apresentados os gráficos Box-plot das propriedades hidrodinâmicas (a) e (b) e dos parâmetros de forma (c) e (d). A comparação entre as três superfícies, tendo como referência a condutividade hidráulica saturada, demonstra que o jardim urbano apresenta maiores faixas da condutividade hidráulica saturada, seguido da área de recreação infantil e da área de convivência respectivamente. O fato de jardim urbano apresentar maior condutividade hidráulica ocorre independente da medida estatística observada no *boxplot*, de modo que, tanto a mediana, quanto o primeiro e o terceiro quartil da condutividade hidráulica saturada relativa ao jardim urbano são maiores que as respectivas medidas para as demais superfícies. A presença de *outliers* é notada para as três superfícies.

No tocante a sorvidade, a área de recreação infantil apresentou valores maiores, seguidos do jardim urbano e da área de convivência

Figura 13 – Box-plot das propriedades hidrodinâmica (a) e (b) e dos parâmetros de forma (c) e (d).

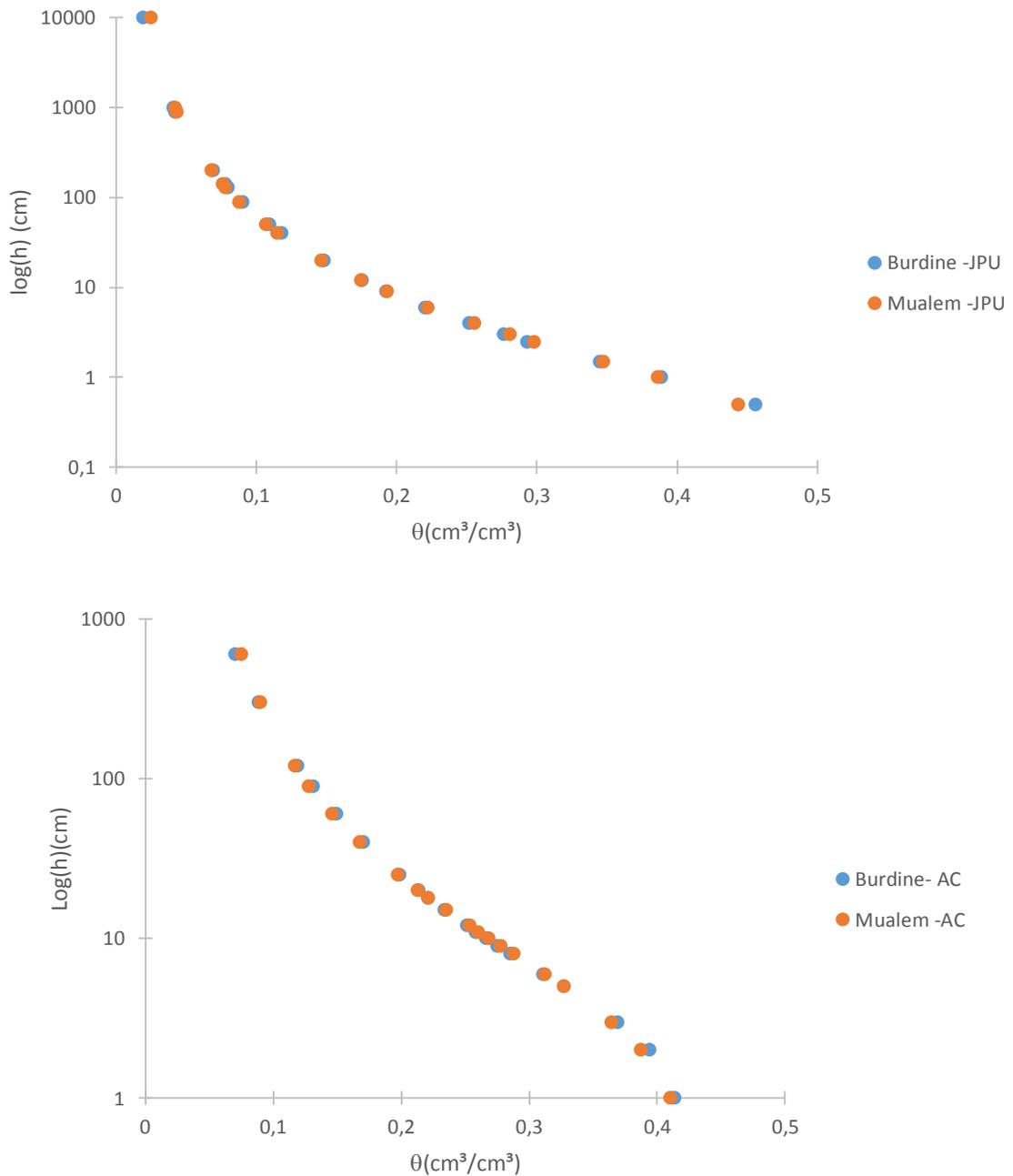


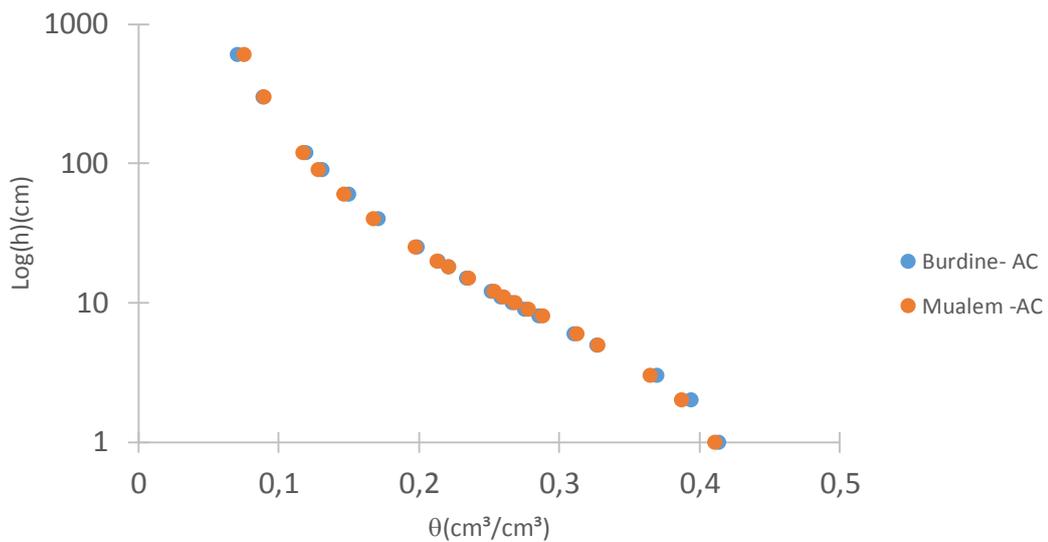
Fonte: O autor, 2017.

Nas Figuras 14 a, b e c são demonstrados os ajustes da curva de retenção da água no solo, referente a passagem da hipótese de distribuição dos poros de Burdine para a hipótese de distribuição dos poros de Mualem. Nota-se que a hipótese de Mualem apresentou bons ajustes para as três superfícies estudadas e que as curvas de

retenção ajustadas apresentam boa representatividade ao modelo de Burdine para os valores próximos a saturação e para valores com umidades mais baixas.

Figura 14 – Ajuste do modelo de distribuição dos poros de Burdine para o modelo de distribuição dos poros de Mualem para as superfícies: Jardim Urbano – JPU, Área de Recreação Infantil – ARI e Área de Convivência – AC.





Fonte: O autor, 2017.

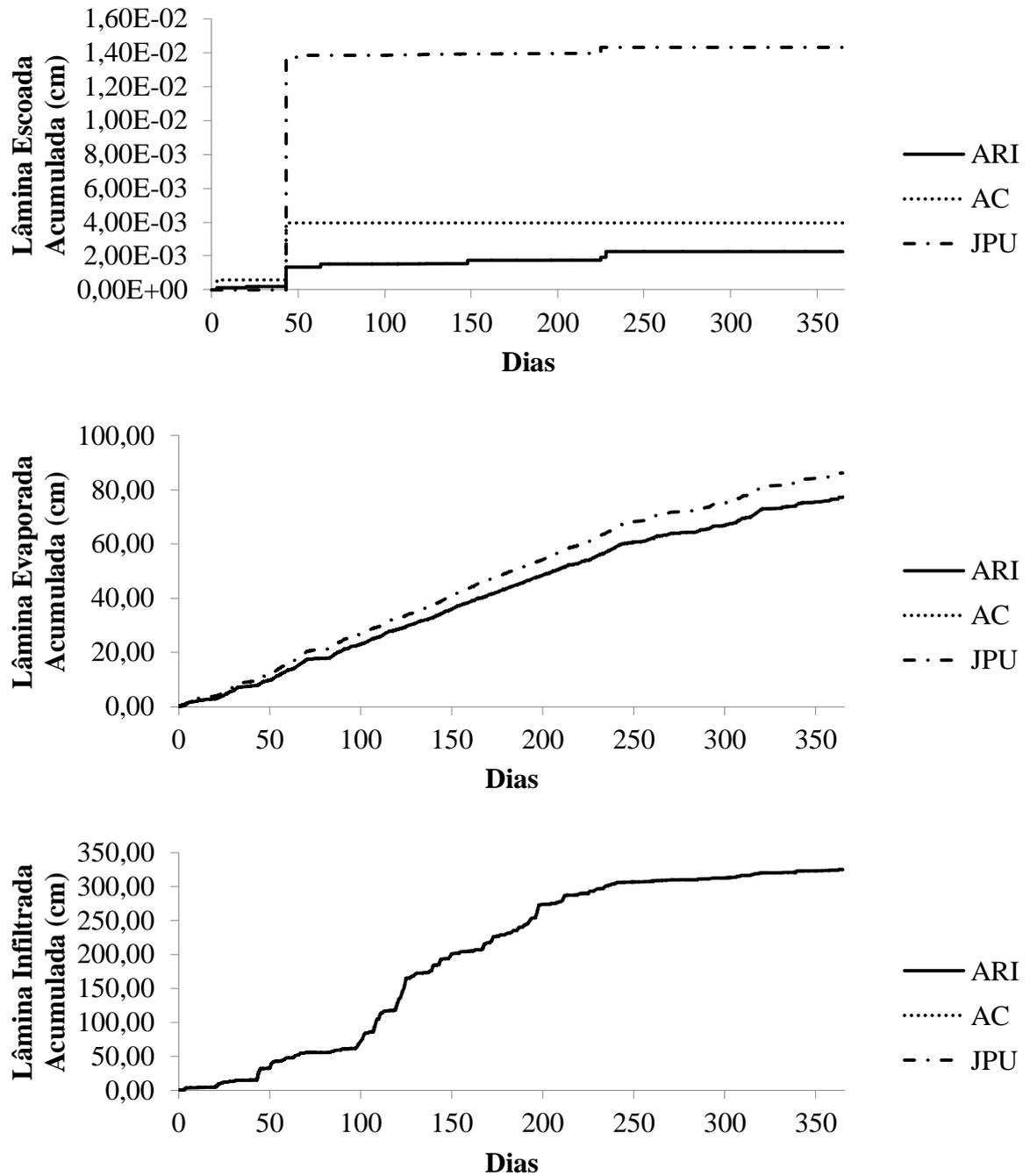
Na Figura 15 são observadas as variáveis de fluxo acumuladas: Lâmina escoada acumulada, lâmina evaporada acumulada e lâmina infiltrada acumulada. Além disso, também se observa a dinâmica do armazenamento de água no solo para o jardim urbano, a área de recreação infantil e a área de convivência.

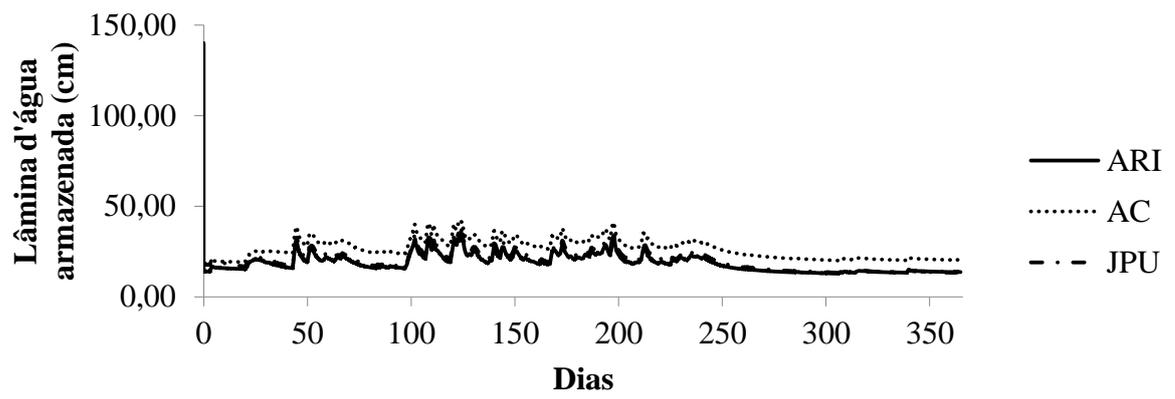
As lâminas escoadas superficialmente apresentaram-se maiores para o jardim urbano, seguido da área de convivência e da área de recreação infantil.

Observa-se que não existe diferença entre as lâminas infiltradas acumuladas, uma vez que toda a lâmina precipitada diária é menor que a capacidade de infiltração do solo. Desse modo, os 325 centímetros precipitados anualmente foram repartidos da seguinte maneira segundo o balanço hídrico da simulação. Para a área de recreação infantil, 23,78% do total precipitado foi convertido em evaporação real, sendo que a maior parte da lâmina (mais que 70%) é convertida em lâmina de drenagem na base do perfil, o que vai permitir a recarga do lençol freático.

Com relação ao Jardim urbano a evaporação real corresponde a 26,52%, com uma lâmina de drenagem na base do perfil, pouco menor que a da área de recreação infantil.

Figura 15 – Lâmina escoada acumulada, evaporação real acumulada, lâmina infiltrada acumulada e lâmina de água armazenada em função do tempo.





Fonte: O autor, 2017.

5 CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia Beerkan demonstrou que o Jardim foi a superfície que apresentou maior condutividade hidráulica saturada, seguido da área de recreação infantil e da área de convivência.

As simulações demonstraram que o escoamento superficial foi o processo hidrológico com menor lâmina acumulada ao final do período de um ano.

Para todas as superfícies estudadas no parque da Jaqueira, as simulações numéricas demonstraram que a maior parte da lâmina precipitada é convertida em lâmina de drenagem na base do perfil, permitindo a recarga do lençol freático. Esse fato demonstra a importância ambiental dos parques na retenção e nos processos de recarga natural dos aquíferos no meio urbano, como também, a diminuição do escoamento superficial.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros as seguintes aplicações metodológicas:

- a) Tentar relacionar as propriedades hidráulicas com a estrutura do solo correspondente a cada uso no parque através de caracterização não invasiva na microescala utilizada microtomografia computadorizada de raios-X.
- b) Efetuar a aplicação de outras metodologias para a determinação das propriedades hidrodinâmicas como o método inverso, e as metodologias propostas por Bagarello, Wu e Xu.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR –7181. Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ALVES, E.M. **Aplicação do programa HYDRUS -1D em solo cultivado com feijão Caupi.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós – Graduação em Tecnologia Energéticas e Nucleares, CTG, UFPE. 83 p. 2009.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media. **Hydrology Paper**, n.3, Fort Collins: Colorado State University, 27p. 1964.

BURDINE, N. T. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. **American Institute Mining and Metallurgy Engineering**, v.198, p. 71-77, 1953.

CONDAPPA,D.; SORIA UGALDE, J. M.;ANGULO-JARAMILLO, R.; HAVERKAMP,R.2002. **Métho de Beerkan. Caractéris ationdes propriétés hydrodynamiques des sols non saturés.** Rapportinterne Hydrologie de la Zone Non Saturés - LTHE, Grenoble: Université de Grenoble, 82p., 2002.

CHAMPS, J. R. **Manejo de águas pluviais urbanas: o desafio da integração e da sustentabilidade.** In: Conceitos,características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico / coord. Berenice de Souza Cordeiro. – Brasília: Editora. (Lei Nacional de Saneamento Básico:perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos; v.2). 193 p. 2009.

CHEN, J.; HOPMANS, J. W.; GRISMER, M. E. **Parameter estimation of two-fluid capillary pressure-saturation and permeability functions.** *Advances in Water Resources*, v.22, n. 5, p.479-493, 1999.

CHIESURA, A.The role of urban parks for the sustainable city. **Landscape and Urban Planning**, 68(1), pp. 129-138. 2004.

DI FIDIO, M. **Architettura del paesaggio.** 3.ed. Milano: PirolaEditores, 1990.

DURNER, W.**Hydraulicconductivity estimation for soilswithheterogeneous pore structure.** *WaterResourceResearch*,Washington ,v.30, n.1 ,p . 211 - 223. 1994.

FERREIRA, M. M. In.: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Física do solo**. Editor Quirijn de Jong van Lier. Capítulo Caracterização física do solo. Viçosa, MG. 298p. 2010.

FERREIRA, A. D. **Efeitos positivos gerados pelos parques urbanos: o caso do passeio público da cidade do Rio de Janeiro**. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental – PGCA). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 2006.

FUENTES, C. **Approche fractale des transferts hydriques dans lessols non-saturés**. Grenoble: Université Joseph Fourier, Tese Doutorado. 444p. 1992.

FUENTES, C.; VAUCLIN, M.; PARLANGE, J. Y.; HAVERKAMP, R. **Soil water conductivity of a fractal soil**. In: Baveye, P.; Parlange, J. Y.; Stewart, B. A. (eds.). *Fractals in soil science*. Boca Raton: CRC, cap. 11, p.333–340. 1998.

GARDNER, W.R. **Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table**. *Soil Science*, v.85, p.228-232, 1958.

HAVERKAMP, R.; BOURAQUI, F.; ANGULO-JARAMILLO, R.; ZAMMIT, C.; DELLEUR, J.W. **Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone**. In: DELLEUR, J.W. (Ed.). *CRC Ground water Engineering Handbook*, 120 p.1998.

HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J.R. (1986) **Predicting the water retention curve from particle size distribution: I Sandy soils without organic matter**. *Soil Science*, Baltimore, v.142, p.325–335.

HAVERKAMP, R.; ROSS, P. J.; SMETTEM, K. R. J.; PARLANGE, J. Y. **The dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer**. 2. Physically based infiltration equation. *Water Resources Research*, v.30, n.3, p.2931-2935, 1994.

KAPLAN, R. **The analysis of perception via preference: a strategy for studying how the environment is experienced**. *Landscape and Urban Planning*, (12), 161-176. 1983.

KOSUGI, K. (1996). **Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties**. *Water Resources Research*, Washington, v.32, n.9, p.2697-2703.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel. 408p. 1988.

KLIASS, R. G. **Os parques urbanos de São Paulo**. São Paulo: Pini. 211 p. 1993.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA, J. M.; CUENCA, R.; BRAUD, I.; HAVERKAMP, R. **Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments – BEST**. Soil Science Society of American Journal, v.70, p.521-532, 2006.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Piracicaba-SP.509 p. 2000.

LIMA, A. E. M.; ROCHA, N. M. M. **Dinâmica de parques urbanos em Fortaleza-CE: considerações sobre o parque Rio Branco**. 2009. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/Luciene/Silva.pdf>. > Acesso em: em 1 de março de 2011.

LOMBARDO, M. A. **Vegetação e clima**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZACAO URBANA, 3., 1990, Curitiba, Anais. PEF / Universidade Federal do Paraná, PalestraCuritiba: FU. p.1-13. 1990.

LOURES, L., SANTOS, R., & PANAGOPOULOS, T. **Urban parks na dsustain able city planning: the case of Portimão**, Portugal. WSEAS Transactions on Environment and Development, 3(10), 171-180. 2007.

MCCORMACK, G. R., ROCK, M., TOOHEY, A. M., & HIGNELL, D. **Characteristics of urban parks associated with park use and physical activity: a review of qualitative research**. Health &Place, 16(4), 712-726. 2010.

MILANO, M. S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba - PR**. 1984. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1984.

_____. **Avaliação quali-quantitativa e manejo da arborização urbana: o caso de Maringá PR**. 1988. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

_____.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000.

MORENO, M. M. **Parâmetros para Implantação Efetiva de Áreas Verdes em Bairros Periféricos de Baixa Densidade**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de

Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, SP. 147 f. 2006.

MUALEM, Y. **A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media.** WaterResourceResearch.V.12, p. 513-522, 1976.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A. & MORAES, S.O. **Determinação da condutividade hidráulica a partir da curva de retenção de água.** R.Bras. Ci. Solo, 12:189-195, 1988.

Philip, J. R. **The quasi-linear analysis, the scattering analog, and other aspects of infiltration and seepage.** In: Y. S. Fok (ed.), Infiltration development and application, Honolulu: WaterResources Research Center, 1987, p.1-27.

PHILIP, J.R. 1969. **Theory of infiltration.** Adv. Hydrosience 5:215–296.

RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L. **Estimation of soil water retention and hydraulic properties.** In: Morel, S. (Ed.), Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling. Theory and Practice. Kluwer academic publishers, pp. 275- 300, 2012.

RICHARDS, L. A. **Capillary conduction of liquids in porous medium.** Physics, v1, p.318- 333, 1931.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B. C.; SILVA, R. M.; **Caracterização hidrodinâmica dos solos da bacia experimental do riacho Guaraira utilizando o método Beerkan.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.17, n.4, p.149-160, 2012.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C.D; ANGULLO-JARAMILLO, Rafael ;MACIEL NETTO, A. **Caracterização hidrodinâmica de solos: aplicação do método Beerkan.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), v. 12, p. 128-135, 2008.

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006 / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA/SBF, 2011. 76 p.

SILVA, L. J. M. da; EGLER, I. **Parques urbanos: A Natureza na Cidade – Uma análise da percepção dos atores urbanos.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentado). Centro de Desenvolvimento Sustentado/UNB. Brasília/DF, 114 f. 2003.

SILVA, L. J. M. **Parques urbanos: a natureza na cidade: uma análise da percepção dos atores urbanos.** (Dissertação de mestrado em Desenvolvimento Sustentado). UNB Centro de Desenvolvimento Sustentado, Brasília/DF. 2003a.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C.D; ANGULLO-JARAMILLO, Rafael ;MACIEL NETTO, A. **Caracterização hidrodinâmica de solos: aplicação do método Beerkan.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), v. 12, p. 128-135, 2008.

TRATALOS, J., FULLER, R. A., WARREN, P. H., DAVIES, R. G., & GASTON, K. J. **Urban form, biodiversity potential and ecosystem services.** Landscape and Urban Planning, 83(4), 308-317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.003>. 2007.

TUCCI, C. E. M. **Gestão integrada das águas urbanas: águas pluviais.** In: **Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de saneamento básico** / coord. Berenice de Souza Cordeiro. – Brasília: Editora. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos) v.2, 193 p. 2009.

ULRICH, R. S. **View through a window may influence recovery from surgery.** Science, (224), 420-421. 1984.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Survey Manual. Natural Resources Conservation Service**, edição revisada, 1993.

VAINER, A. G. **Conflitos ambientais em evidência na criação e manejo de um parque nacional: o caso do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba.** In: Anais do XIX Encontro Nacional do CONPEDI. Fortaleza. 2010. Disponível em:< <http://www.conpedi.org.br/arquivos/anais/fortaleza.pdf>> Acesso em: 2 de agosto de 2011.

VAN GENUCHTEN, M.Th. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

VOGEL, T.; CÍSLEROVÁ, M. **On the reliability of unsaturated hydraulic conductivity calculated from the moisture retention curve** .Phoenix : v.3,n .1,p 1-15. 1988.

WHITE, I.; SULLY, M.J. **Macroscopic and Microscopic capillary length and times scales from field infiltration**. Water Resources Research, v.23, n.8, p.1514-1522. 1987.

ZATARÁIN, F.; FUENTES, C.; HAVERKAMP, R.; ANTONIO, A. C. D. **Predicción de la forma de la característica de humedad Del suelo a partir de la curva granulométrica**. In: Congreso Nacional de Irrigación, 13. Zacatecas. Resumos, 2003.

ZHANG, R.; van GENUCHTEN, M.Th. **New models for unsaturated soil hydraulic properties**. Soil Science, p.77-85, v.158, 1994.