



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**IMPACTO DAS CULTURAS DA CANA-DE-AÇÚCAR E DO
ABACAXI NAS PROPRIEDADES HIDRODINÂMICAS DO SOLO
DA BACIA DO RIO GRAMAME - PB**

Por

Érika Gonçalves Sales

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Julho de 2013



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**IMPACTO DAS CULTURAS DA CANA-DE-AÇÚCAR E DO
ABACAXI NAS PROPRIEDADES HIDRODINÂMICAS DO SOLO
DA BACIA DO RIO GRAMAME - PB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Érika Gonçalves Sales

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

João Pessoa – Paraíba

Julho de 2013

S163i Sales, Érika Gonçalves.
 *Impacto das culturas da cana-de-açúcar e do abacaxi nas
propriedades hidrodinâmicas do solo da bacia do Rio Gramame-
PB / Érika Gonçalves Sales.- João Pessoa, 2013.*
 110f. : il.
 Orientador: Cristiano das Neves Almeida
 Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
 1. Engenharia urbana e ambiental. 2. Condutividade
hidráulica - Rio Gramame-PB. 3. Propriedades hidrodinâmicas. 4.
Método Beerkan.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

***"Impacto das culturas da cana-de-açúcar e do abacaxi nas propriedades
hidrodinâmicas de solos da bacia hidrográfica do Rio Gramame-PB"***

ÉRIKA GONÇALVES SALES

Dissertação aprovada em 26 de julho de 2013

Período Letivo: 2013.1



Prof. Dr. CRISTIANO DAS NEVES ALMEIDA – UFPB

Orientador



Prof. Dr. HAMILCAR JOSÉ ALMEIDA FILGUEIRA - UFPB

Examinador Interno



Prof. Dr. EDUARDO SOARES DE SOUZA – UFBPE

Examinador Externo

**João Pessoa/PB
2013**

Às pessoas que fazem parte da minha
vida e que contribuem para o meu
crescimento.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Com muita dedicação, esforço, cansaço e noites mal dormidas, concretiza-se um sonho, que contou com a ajuda primeiramente de Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades; e do companheirismo de várias pessoas que acabaram se tornando meus amigos. Por isso, divido essa conquista com todas essas pessoas.

Ao Professor Cristiano das Neves Almeida, pela orientação nessa pesquisa, sempre com cobranças e críticas construtivas.

À Amanda, pelo carinho, amizade e disposição em me ajudar sempre que precisava, além de me ceder seu namorado, Victor, nas traduções de alguns artigos.

Aos colegas, amigos e professores que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, em especial aos professores Hamilcar, Carmem e Tarciso.

Aos amigos Jaqueline, Victor Hugo e Alexandre pelas valiosas contribuições nas inesquecíveis atividades de campo.

Aos demais amigos da turma do mestrado que contribuíram para que as aulas se tornassem mais descontraídas, em especial a Adriana, Elisângela, Eudes e Alysson.

Aos amigos que conquistei no Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) e que sempre me ajudaram. Em especial a Eliamin, Franklin, Romero e Andréa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), em especial a Edilson, pela ajuda em todas as atividades de campo e de laboratório.

Aos funcionários e professores que fazem parte do Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), em especial aos professores Anieres e Lucymere por terem me cedido os equipamentos e materiais para a conclusão desta pesquisa.

Aos meus pais e irmãos pelo amor, ajuda e confiança depositada.

Ao meu noivo pelo carinho e paciência nas vezes que precisei ficar ausente por conta da pesquisa.

RESUMO

Nesse estudo foram determinadas a condutividade hidráulica e a retenção em solos da bacia hidrográfica do rio Gramame, mediante comparação com os solos das áreas nativas de mata atlântica, utilizando o método Beerkan. Para a aplicação desse método foi necessário à realização de ensaios em 36 pontos da bacia hidrográfica. O método Beerkan se baseia em experimentos de campo, utilizando propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva granulométrica e a curva de infiltração da água no solo, onde são realizados ensaios simplificados de infiltração para determinar os parâmetros hidrodinâmicos. No Beerkan, as curvas de retenção de água no solo $\theta(h)$ e condutividade hidráulica $K(\theta)$ podem ser descritas por cinco parâmetros, dois de forma e três de normalização. Os parâmetros de forma são obtidos a partir da curva de distribuição dos tamanhos das partículas $F(D)$ e da porosidade, enquanto que os parâmetros de normalização são determinados a partir de experimentos de infiltração. Os resultados obtidos nas áreas de cultivo foram comparados com os resultados das áreas de mata atlântica. Verificou-se que a área central da bacia hidrográfica apresentou as maiores respostas referente à condutividade hidráulica, com destaque para os maiores níveis localizados nas áreas remanescentes de mata atlântica. Do total de pontos, 18 foram descartados devido as curvas não obedecerem a um padrão específico, não ocorrendo à estabilização da lâmina infiltrada. Concluiu-se que mesmo uma parcela dos solos sob cobertura vegetal tendo apresentado resultados semelhantes aos das áreas cultivadas, a maior parte dos pontos localizados na zona que compreende as maiores condutividades são pontos na área de mata atlântica. Logo, percebe-se certa atividade impactante por parte das culturas ao solo, situação de menor representatividade nas áreas remanescentes de mata atlântica, tendo em vista que os maiores valores da condutividade hidráulica estão nessas áreas, devido à proteção exercida pela cobertura vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Gramame, propriedades hidrodinâmicas, Beerkan, infiltração.

ABSTRACT

In this study we determined the hydraulic conductivity and retention in soils of river basin Gramame, by comparison with the soils of the areas native atlantic, using the method Beerkan. To apply this method it was necessary to carry out tests on 36 points basin. Beerkan The method is based on field experiments, using static and dynamic properties of the soil, as the grading curve and the curve of water infiltration into the soil, where tests are conducted to determine infiltration simplified hydrodynamic parameters. In Beerkan curves water retention in the soil θ (h) and hydraulic conductivity K (θ) can be described by five parameters, two and three way of standardization. The shape parameters are obtained from the distribution curve of the particle sizes $F(D)$ and porosity, whereas the normalization parameters are determined from experiments infiltration. The results obtained in the cultivation areas were compared with the results of the atlantic forest. It was found that the central area of the basin showed higher responses related to the hydraulic conductivity, especially the higher levels located in the remaining areas of rainforest. Of the total points, 18 were discarded because the curves did not obey a specific pattern does not occur to stabilize the blade infiltrated. It was concluded that even a portion of the soil under vegetation cover and provided results similar to those of cultivated areas, most of the points located in the area that comprises the largest conductivities are points in the area of rainforest. Therefore, it is perceived by some activity impacting crops to soil, situation smaller representation in the remaining areas of rainforest in order that the highest values of hydraulic conductivity are in these areas due to the protective effect by vegetation.

KEYWORDS: Gramame, hydrodynamic properties, Beerkan, infiltration.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 O Ciclo Hidrológico	15
2.2 Mecanismos de Infiltração.....	17
2.3 Parâmetros Hidráulicos do Solo	18
2.4 Estudos de Casos	20
2.4.1 Propriedades Hidrodinâmicas do Solo e o Método Beerkan.....	20
2.4.2 Processo de Infiltração em diferentes tipos de Solo	23
2.4.3 Impactos das Técnicas de Manejo de Culturas nos Solos	26
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 Determinação das Propriedades Hidrodinâmicas do Solo.....	34
4.2 Atividades de Campo	35
4.3 Atividades de Laboratório	37
4.4 O Método Beerkan	39
4.4.1. Formulação dos Parâmetros de Forma Utilizados pelo Programa BEST.....	42
4.4.2 Formulação dos Parâmetros de Normalização Utilizados pelo Programa BEST	43
5 RESULTADOS DE DISCUSSÕES.....	47
5.2 Propriedades Hidrodinâmicas dos Solos Estudados.....	47
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
7 REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A	64
APÊNDICE B.....	67
APÊNDICE C.....	74
APÊNDICE D	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ciclo hidrológico (Fonte: BRAGA <i>et al.</i> , 2002)	15
Figura 2- Saturação das diferentes camadas do solo (Fonte: TEIXEIRA <i>et al.</i> 2002)... 17	
Figura 3- Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame. 31	
Figura 4- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame (Adaptado de Coelho, 2011). 32	
Figura 5- Áreas selecionadas e os pontos escolhidos para a determinação das propriedades hidrodinâmicas do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame (Érika Gonçalves Sales, 2012)	35
Figura 6- Teste de infiltração tridimensional para a determinação da condutividade hidráulica da bacia hidrográfica (Foto: Érika Gonçalves Sales, 2012)	36
Figura 7- Coleta de amostras para a determinação da umidade inicial (A) e determinação da curva granulométrica (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012).....	37
Figura 8- Coleta de amostras para a determinação da massa específica (A) e da umidade gravimétrica final (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012).....	37
Figura 9- Balança para pesagem das amostras (A) e Estufa para secagem das amostras (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012)	38
Figura 10- Conjunto de peneiras e agitador (Foto: Érika Gonçalves Sales, 2012)	39
Figura 11- Arquivo de entrada com os dados da granulometria para o programa BEST. Na primeira coluna estão os dados do diâmetro das partículas (mm) e na segunda coluna suas respectivas porcentagens do material passante.....	41
Figura 12- Arquivo de entrada com os dados do diretório a ser utilizado, densidade do solo, massa específica da partícula do solo (constante), umidade inicial, umidade final e raio do cilindro, respectivamente, para o programa BEST.	41
Figura 13- Arquivo de entrada com os dados de infiltração para o programa BEST. Na primeira coluna encontram-se os dados da lâmina infiltrada (mm) e na segunda coluna os tempos (s) de infiltração.....	42
Figura 14- Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Gramame para as áreas estudadas com distribuição espacial dos 18 pontos utilizados	48
Figura 15- Curvas de distribuição granulométrica dos pontos utilizados	49
Figura 16- Mapa com a porcentagem de areia para cada ponto estudado.....	50
Figura 17- Curva de infiltração gerada pelo programa BEST, sem a estabilização da lâmina infiltrada em função do tempo.....	51
Figura 18- Curva de infiltração gerada pelo programa BEST, com estabilização da lâmina infiltrada em função do tempo.....	51
Figura 19- Gráfico com os valores médios, mínimos e máximos da condutividade hidráulica saturada de acordo com os usos do solo.	53
Figura 20- Comportamento da condutividade hidráulica dos pontos utilizados	54
Figura 21- Comportamento da retenção de água no solo dos pontos utilizados	54
Figura 22- Planilha de campo específica para o método Beerkan.....	65
Figura 23- Planilha de laboratório específica para o método Beerkan.....	66
Figura 24- Taxa de infiltração do ponto 1	75
Figura 25- Infiltração acumulada do ponto 1	75
Figura 26- Taxa de infiltração do ponto 2	76
Figura 27- Infiltração acumulada do ponto 2	76
Figura 28- Taxa de infiltração do ponto 3	77
Figura 29- Infiltração acumulada do ponto 3	77
Figura 30- Taxa de infiltração do ponto 4	78

Figura 31- Infiltração acumulada do ponto 4	78
Figura 32- Taxa de infiltração do ponto 5	79
Figura 33- Infiltração acumulada do ponto 5	79
Figura 34- Taxa de infiltração do ponto 6	80
Figura 35- Infiltração acumulada do ponto 6	80
Figura 36- Taxa de infiltração do ponto 7	81
Figura 37- Infiltração acumulada do ponto 7	81
Figura 38- Taxa de infiltração do ponto 8	82
Figura 39- Infiltração acumulada do ponto 8	82
Figura 40- Taxa de infiltração do ponto 9	83
Figura 41- Infiltração acumulada do ponto 9	83
Figura 42- Taxa de infiltração do ponto 10	84
Figura 43- Infiltração acumulada do ponto 10	84
Figura 44- Taxa de infiltração do ponto 11	85
Figura 45- Infiltração acumulada do ponto 11	85
Figura 46- Taxa de infiltração do ponto 12	86
Figura 47- Infiltração acumulada do ponto 12	86
Figura 48- Taxa de infiltração do ponto 13	87
Figura 49- Infiltração acumulada do ponto 13	87
Figura 50- Taxa de infiltração do ponto 14	88
Figura 51- Infiltração acumulada do ponto 14	88
Figura 52- Taxa de infiltração do ponto 15	89
Figura 53- Infiltração acumulada do ponto 15	89
Figura 54- Taxa de infiltração do ponto 16	90
Figura 55- Infiltração acumulada do ponto 16	90
Figura 56- Taxa de infiltração do ponto 17	91
Figura 57- Infiltração acumulada do ponto 17	91
Figura 58- Taxa de infiltração do ponto 18	92
Figura 59- Infiltração acumulada do ponto 18	92
Figura 60- Dados de infiltração do ponto excluído 1 (3A e 3B)	94
Figura 61- Dados de infiltração do ponto excluído 2 (5A e 5B)	95
Figura 62- Dados de infiltração do ponto excluído 3 (8A e 8B)	96
Figura 63- Dados de infiltração do ponto excluído 4 (10A e 10B)	97
Figura 64- Dados de infiltração do ponto excluído 5 (15A e 15B)	98
Figura 65- Dados de infiltração do ponto excluído 6 (19A e 19B)	99
Figura 66- Dados de infiltração do ponto excluído 7 (21A e 21B)	100
Figura 67- Dados de infiltração do ponto excluído 8 (25A e 25B)	101
Figura 68- Dados de infiltração do ponto excluído 9 (0_17)	102
Figura 69- Dados de infiltração do ponto excluído 10 (0_34)	103
Figura 70- Dados de infiltração do ponto excluído 11 (0_105)	104
Figura 71- Dados de infiltração do ponto excluído 12 (1E)	105
Figura 72- Dados de infiltração do ponto excluído 13 (2E)	106
Figura 73- Dados de infiltração do ponto excluído 14 (4E)	107
Figura 74- Dados de infiltração do ponto excluído 15 (7E)	108
Figura 75- Dados de infiltração do ponto excluído 16 (8E)	109
Figura 76- Dados de infiltração do ponto excluído 17 (11E)	110
Figura 77- Dados de infiltração do ponto excluído 18 (12E)	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados sobre os pontos descartados por apresentarem problema na estabilização da lâmina infiltrada.	68
Tabela 2- Pontos utilizados, com a identificação original do ponto, suas coordenadas, execução, data de realização e dados referentes ao uso do solo e infiltração.....	69
Tabela 3- Frações de seixo, areia grossa, areia fina, silte e argila para todos os pontos utilizados.....	70
Tabela 4- Parâmetros de forma e normalização das funções de $\theta(h)$ e $K(\theta)$, bem como uso do solo e porcentagem de areia dos pontos utilizados.	71
Tabela 5- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na cultura do abacaxi.	72
Tabela 6- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na cultura da cana-de-açúcar.	72
Tabela 7- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na mata atlântica.	73
Tabela 8- Dados de infiltração do ponto 1	75
Tabela 9- Dados de infiltração do ponto 2	76
Tabela 10- Dados de infiltração do ponto 3	77
Tabela 11- Dados de infiltração do ponto 4	78
Tabela 12- Dados de infiltração do ponto 5	79
Tabela 13- Dados de infiltração do ponto 6	80
Tabela 14- Dados de infiltração do ponto 7	81
Tabela 15- Dados de infiltração do ponto 8	82
Tabela 16- Dados de infiltração do ponto 9	83
Tabela 17- Dados de infiltração do ponto 10	84
Tabela 18- Dados de infiltração do ponto 11	85
Tabela 19- Dados de infiltração do ponto 12	86
Tabela 20- Dados de infiltração do ponto 13	87
Tabela 21- Dados de infiltração do ponto 14	88
Tabela 22- Dados de infiltração do ponto 15	89
Tabela 23- Dados de infiltração do ponto 16	90
Tabela 24- Dados de infiltração do ponto 17	91
Tabela 25- Dados de infiltração do ponto 18	92

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma crescente preocupação com a escassez de água, tendo em vista que a demanda por este recurso esta cada vez maior. Estudos que buscam reduzir e melhorar a eficiência do uso agrícola da água e do solo, diminuindo a poluição ambiental, é um desafio constante (MUBARAK *et al.*, 2010).

Torna-se então necessária a realização de um estudo para avaliar a infiltração de água no solo de uma determinada área, pois é a partir dela que se determinam as condições de um solo no que diz respeito a sua capacidade de infiltrar água mediante a estrutura do solo e, conseqüentemente, de recarregar os aquíferos, promovendo um adequado escoamento superficial.

O movimento de água no solo está relacionado com as condições de umidade do perfil do solo. De acordo com essas condições ele pode ser dividido em duas zonas, denominadas de não saturada e saturada. As águas subterrâneas na zona saturada formam os aquíferos (TUCCI, 1993).

Para descrever os processos da dinâmica da água e de sais no solo em condições de campo (em processos de irrigação, drenagem, conservação de água, recarga e contaminação do lençol freático, infiltração e escoamento superficial) é necessário o conhecimento das características hidrodinâmicas do solo, ou seja, da relação entre o potencial matricial (h) e a umidade volumétrica do solo $\theta(h)$, conhecida como curva característica da umidade do solo ou curva de retenção da água no solo; e da relação entre a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica $K(\theta)$, conhecida como curva de condutividade hidráulica (SOUZA *et al.*, 2008a).

Assim, o conhecimento das propriedades hidráulicas do solo é de suma importância, em situações tais como em processos de irrigação, drenagem, conservação de água, recarga e contaminação do lençol freático, infiltração, escoamento superficial e produção de sedimentos (SOUZA, 2011).

Desta forma, este trabalho mostra os resultados obtidos sobre a hidrodinâmica do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, que contou com medições de infiltração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e abacaxi, e em áreas remanescentes de mata atlântica, onde será aplicada uma metodologia específica, relacionando-se os dados coletados. Esse tipo de pesquisa é importante para a área de estudo, pois poderá ajudar na definição de políticas de uso do solo.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar o impacto das culturas de cana-de-açúcar e de abacaxi sobre o processo de infiltração da bacia hidrográfica do rio Gramame, por meio da utilização do método Beerkan. Para isso, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Levantar informações sobre as áreas cultivadas (cana-de-açúcar e abacaxi) e de mata atlântica na bacia hidrográfica do rio Gramame;
- b) Estabelecer pontos para análise de infiltração na bacia hidrográfica do rio Gramame;
- c) Realizar ensaios de infiltração nos pontos definidos pelo método Beerkan;
- d) Estudar a influência das culturas de cana-de-açúcar e abacaxi no processo natural de infiltração no solo da bacia hidrográfica do rio Gramame;
- e) Estimar os impactos causados ao solo devido ao uso e ocupação do mesmo.

A dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: no primeiro capítulo tem-se a Introdução, onde se faz uma apresentação geral do tema em questão enfatizando os objetivos a que se destina a pesquisa. O segundo capítulo, que trata do Referencial Teórico, faz uma descrição de temas relevantes ao trabalho como o Ciclo Hidrológico, enfatizando os mecanismos de infiltração e os parâmetros hidráulicos do solo; bem como uma abordagem a respeito do método Beerkan e dos impactos ao solo oriundos das técnicas de manejo de culturas, bem como o processo de infiltração em diferentes tipos de solo, sistematizados nos estudos de casos. O terceiro capítulo refere-se à Caracterização da Área de Estudo, onde serão enfatizadas as principais características físicas e geográficas da área escolhida para o estudo. Os Materiais e Métodos estão descritos no quarto capítulo, onde foram expostas as etapas metodológicas utilizadas na pesquisa para se alcançar os objetivos propostos. O quinto capítulo constitui-se dos Resultados e Discussões sobre o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo, dos dados obtidos com os testes de infiltração realizados na área, e sobre os impactos das culturas da cana-de-açúcar e do abacaxi sobre o processo de infiltração no solo da bacia hidrográfica. As Conclusões e Recomendações estão dispostas no último capítulo, que trata das considerações finais a respeito dos resultados encontrados durante a pesquisa e a importância dos mesmos nas recomendações para futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, aborda-se primeiramente a importância do ciclo hidrológico como a base do comportamento natural da água; em seguida enfatizam-se os mecanismos de infiltração, seguido dos parâmetros hidráulicos do solo. Para dar continuidade, faz-se uma abordagem a respeito do método Beerkan e dos impactos ao solo oriundos das técnicas de manejo das culturas da cana-de-açúcar e do abacaxi, sistematizados nos estudos de casos.

2.1 O Ciclo Hidrológico

O movimento contínuo da água presente nos oceanos, na atmosfera e nos continentes é alimentado pela força da gravidade e pela energia do Sol, que provocam a evaporação da água dos oceanos e dos continentes. Tanto esse comportamento natural da água quanto as suas transformações, relações com a vida humana e as suas ocorrências, caracterizam o Ciclo Hidrológico (Figura 1).



Figura 1- Ciclo hidrológico (Fonte: BRAGA *et al.*, 2002)

Essa troca contínua de água que ocorre na hidrosfera entre as águas subterrâneas, superficiais, calotas de gelo, oceanos e atmosfera pode ser explicada da seguinte maneira: o ciclo se inicia com a evaporação das águas da superfície terrestre para a atmosfera, para onde o vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar e sob determinadas condições o vapor é condensado, ocorrendo a formação das nuvens. Mediante o efeito da gravidade, a água condensada resulta em precipitação. Essa precipitação pode ocorrer na terra ou nos oceanos. Quando atinge a superfície terrestre, a precipitação pode ser dispersa de várias formas, podendo ser interceptada pelas plantas, escoar superficialmente na terra ou infiltrar no solo. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e retorna a atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Outra parte escoar superficialmente, ou através do solo para os rios até atingir os oceanos, ou continua a infiltrar atingindo a zona saturada e entra na circulação subterrânea, onde vai contribuir para o aumento da água armazenada suprimindo o lençol de água subterrâneo (recarga dos aquíferos).

Qualquer transformação dentro do ciclo hidrológico é descrita pela equação hidrológica:

$$I - O = \Delta S / \Delta t \quad (1)$$

onde I é todo o escoamento superficial por meio de canais e sobre a superfície do solo, o escoamento subterrâneo, ou seja, a entrada de água através dos limites subterrâneos do volume de controle, devido ao movimento lateral da água do subsolo, e a precipitação sobre a superfície do solo; O é a saída de água do volume de controle, devido ao escoamento superficial, ao escoamento subterrâneo, à evaporação e à transpiração das plantas; e $\Delta S / \Delta t$ é a variação no armazenamento nas várias formas de retenção, no volume de controle.

Devido à influência da gravidade, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo são realizados em direção a cotas mais baixas e podem, eventualmente, ser descarregados nos oceanos. Assim, por exemplo, parte da água que chega aos rios pode percolar, sendo incorporada à água subterrânea, enquanto que em outros casos, a água subterrânea é a fonte dos cursos d'água superficiais. Da mesma forma a precipitação pode ficar durante meses retida na superfície como neve ou gelo antes que, devido à sua fusão, escoar para os cursos d'água ou para o lençol subterrâneo (VILLELA & MATTOS, 1975).

2.2 Mecanismos de Infiltração

A infiltração, um dos componentes do ciclo hidrológico, implica na entrada de água pela superfície do solo devido às forças gravitacionais e capilares. Esse fenômeno é de suma importância para o crescimento vegetal, escoamento superficial, recarga dos aquíferos, redução de cheias e diminuição da erosão.

Tomando-se como base a entende-se que em um solo seco atingido por uma chuva, a água irá infiltrar rapidamente, pois o solo apresenta muitos poros vazios. À medida que esses poros vão sendo preenchidos por água, a infiltração tende a ficar mais lenta devido à capacidade de percolação do solo; onde esta capacidade é dada pela condutividade hidráulica. Quando o solo está próximo da saturação, a capacidade de infiltração tende a ficar constante e igual à condutividade hidráulica.

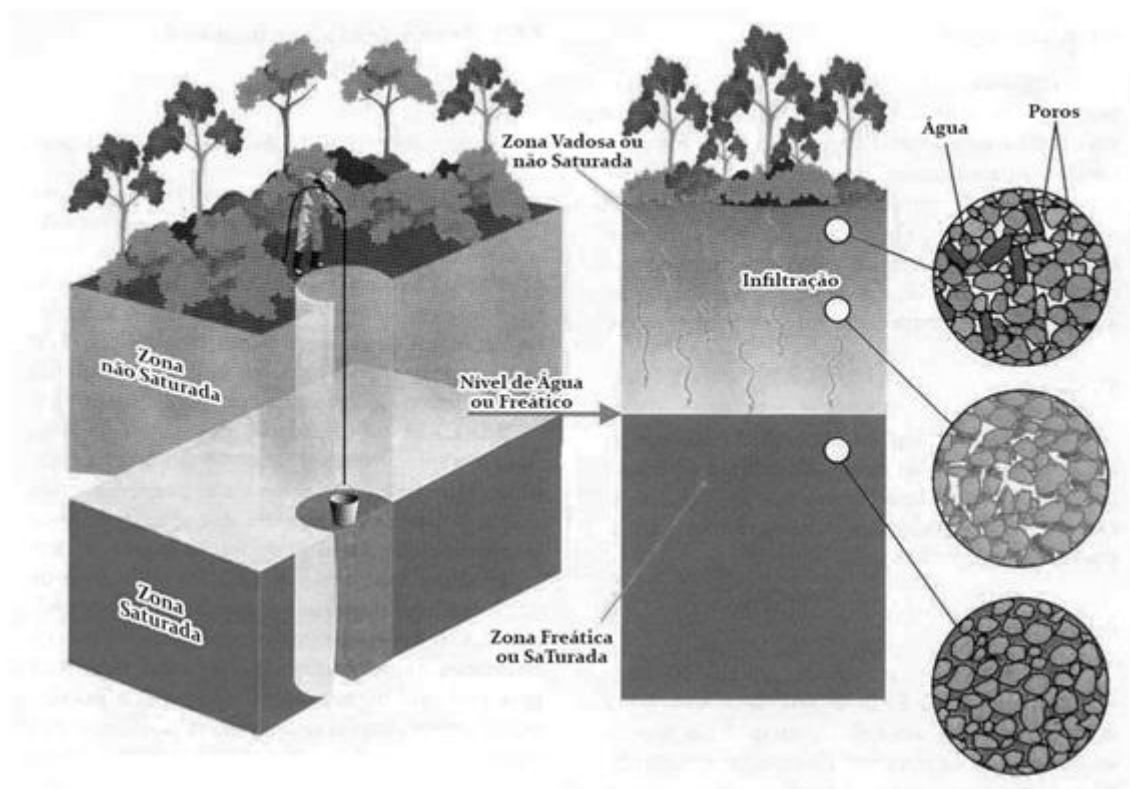


Figura 2- Saturação das diferentes camadas do solo (Fonte: TEIXEIRA *et al.* 2002)

Essa capacidade de infiltração do solo é descrita por Horton (1933) apud Villela & Mattos (1975), na equação:

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

onde f_o é a capacidade de infiltração inicial para ($t=0$); f_c é a capacidade de infiltração final para ($t=\infty$); k é uma constante para cada curva, e f é a capacidade de infiltração depois do tempo t .

A água ao penetrar nas camadas superficiais do solo, se move para baixo pela ação da gravidade, através dos espaços vazios até atingir uma camada impermeável. Na zona não saturada ou zona de aeração os poros vazios estão preenchidos por água e ar. A água existente nesta porção do solo é conhecida como umidade do solo. Ao contrário, na zona saturada, os poros estão basicamente preenchidos por água, onde esta água é caracterizada como água subterrânea.

Para o fluxo da água nos solos saturados têm-se a lei de Darcy:

$$V = K \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

Onde V é a velocidade média com que a água atravessa o solo, ou seja, a vazão dividida pela área total da secção reta do meio poroso, K é o coeficiente de permeabilidade, e h é a carga hidráulica. A lei de Darcy conclui que o fluxo de água através de um meio poroso é proporcional ao gradiente hidráulico (dh/dx).

Diversos fatores como umidade do solo, permeabilidade do solo, temperatura do solo e profundidade do extrato impermeável podem afetar a infiltração. Quanto à umidade do solo, Villela & Mattos (1975) explicam que um solo seco tem maior capacidade de infiltração inicial devido ao fato de se somarem as forças gravitacionais e as de capilaridade. Assim, a água infiltrada sofrerá a ação de capilaridade e será retida nas camadas superiores do solo, se esta prevalecer sobre a força da gravidade. À medida que o solo vai ficando úmido, a força da gravidade passa a prevalecer e a água percola em direção às camadas mais profundas.

Outro fator que influencia no processo de infiltração é a permeabilidade do solo, que pode ser afetada principalmente pela cobertura vegetal e pela compactação, tendo em vista que é um fator decisivo para o fenômeno de infiltração da água, pois o seu fluxo para baixo depende desse constituinte.

2.3 Parâmetros Hidráulicos do Solo

O movimento de água no solo é dependente das suas características físico-hídricas, que pode ser descrito pela condutividade hidráulica, pelo conteúdo de água e pela curva de retenção (PINHEIRO & TEIXEIRA, 2009).

Os parâmetros hidráulicos do solo são importantes em estudos com modelagem do fluxo de água, na simulação de crescimento vegetal e no transporte de solutos ou contaminantes (SINGH *et al.*, 2010). Para Villela & Mattos (1975), esses parâmetros traduzem a capacidade de água que pode ser tanto infiltrada quanto armazenada nas zonas não saturada e saturada do solo.

Neste sentido, vários parâmetros hidráulicos estão relacionados com a dinâmica da água no solo, entre eles a condutividade hidráulica (K), e a retenção da água no solo $\theta(h)$.

A condutividade hidráulica (K) leva em consideração as características do meio, do solo e do fluido que está escoando, ou seja, a viscosidade e a massa específica. Esse parâmetro tem a dimensão de velocidade (m/s, cm/s ou mm/s). As características do solo (meio) que mais influenciam na condutividade hidráulica são a porosidade total, a distribuição e o tamanho dos poros. Quando atinge a umidade próxima ao ponto de saturação, é denominada condutividade hidráulica saturada, já para o conteúdo de água abaixo dos teores de saturação ela é chamada de condutividade hidráulica não saturada. Em geral a condutividade hidráulica pode ser determinada por meio de ensaios de campo, métodos de laboratório ou formulações matemáticas (COELHO, 2011).

Na maioria das vezes, o escoamento em meios porosos ocorre em condições de não saturação. Nesse caso, as fases sólida, líquida e gasosa interagem entre si, originando os fenômenos de capilaridade e adsorção, que irão produzir pressões sub-atmosféricas ou sucções, equivalendo a um potencial negativo de pressão, também chamado de potencial matricial. Nessa condição, o potencial total da água do solo é representado pelo somatório dos potenciais gravitacional e matricial. Uma das características mais importantes de um meio poroso não saturado é a relação entre o seu conteúdo de água e o potencial matricial, denominada curva de retenção de água do solo. Essa relação é uma característica do solo, e caso a geometria do sistema não sofra variações, é possível sua utilização para estimar o teor de água do solo a partir do seu potencial matricial e vice-versa (BIASSUSI, 2001).

2.4 Estudos de Casos

Essa seção está destinada a uma abordagem a respeito das propriedades hidrodinâmicas do solo e da utilização do método Beerkan elaborado por Haverkamp *et al.* (1999); do processo de infiltração em diferentes tipos de solo, bem como os impactos aos solos oriundos das técnicas de manejo de culturas, sistematizados a seguir:

2.4.1 Propriedades Hidrodinâmicas do Solo e o Método Beerkan

O conhecimento das propriedades hidráulicas do solo, tais como as curvas de retenção da água no solo $\theta(h)$ e da condutividade hidráulica $K(\theta)$, é indispensável para a modelagem do transporte de água e de poluentes em sistemas agrícolas. Várias técnicas experimentais têm sido propostas para determinar essas características do solo diretamente no campo. Porém a complexidade, os custos elevados e o tempo de execução dessas medidas são fatores que limitam bastante a obtenção dessas informações em grande escala. A metodologia conhecida como “Beerkan”, busca minimizar esses fatores utilizando-se dados experimentais de infiltração, da distribuição granulométrica e da massa específica do solo, para então se estimar os parâmetros das curvas de $\theta(h)$ e $K(\theta)$ (SOUZA *et al.* 2008a).

Lassabatère *et al.*, (2006) mencionaram detalhadamente a utilização da metodologia Beerkan para compreender e caracterizar a transferência de contaminantes transportados pela água na zona vadosa de três diferentes tipos de solo na França. Nesse trabalho, o algoritmo BEST - Beerkan Estimativa de parâmetros de transferência do solo através de ensaios de infiltração (Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments) foi comparado com outros quatro métodos de ajuste, com base nas equações de infiltração para os três solos contrastantes. Eles encontraram algumas falhas nos outros métodos como os valores fornecidos de acordo com os princípios físicos da infiltração de água (valores negativos para condutividade hidráulica, que foram gerados pelo ajuste no programa, e taxa de infiltração muito alta no estado estacionário), e afirmaram que nenhuma dessas anomalias foram encontradas na modelagem de infiltração acumulada utilizando o BEST.

Souza *et al.*, (2008b) determinaram e analisaram os parâmetros de forma e de normalização das curvas $\theta(h)$ e $K(\theta)$, por intermédio do método Beerkan, em dois solos,

apresentando três distintas classes texturais, do Estado da Paraíba. Para eles, os resultados obtidos a partir do Beerkan apontam que o método forneceu valores aceitáveis para a sorvidade (S) e para a condutividade hidráulica saturada (Ks) para os dois solos, além de fornecer ajustes precisos das infiltrações acumuladas.

Mubarak *et al.*, (2009) identificaram a variabilidade temporal das propriedades hidráulicas do solo sob campo com alta frequência de aplicação de água durante a temporada de cultivo de milho, em Montpellier, França. Nesse estudo, o comportamento de um solo argiloso sob irrigação por gotejamento foi analisado usando o método de infiltração de Beerkan para identificar a variabilidade temporal de suas propriedades hidráulicas causadas por alta frequência de irrigação durante a época de colheita de milho. Dois diferentes tratamentos de irrigação, um completo e uma limitada, foram investigados. Os resultados demonstraram que tanto a porosidade do solo quanto as propriedades hidráulicas variaram ao longo do tempo. Esse comportamento foi explicado pela compactação "hidráulica" causada pela irrigação na superfície do solo.

Xu *et al.*, (2012) realizaram em vinte locais na Irlanda, com diferentes tipos de solo mineral e com pastagem na cobertura da terra, um estudo comparativo entre quatro métodos de análise de dados para estimar a condutividade hidráulica saturada (Ks) e o parâmetro de retenção de água. Entre os métodos, o BEST também foi analisado. Os autores concluíram que o BEST e outros dois métodos são adequados para o caso de um fluxo em estado transitório. Para eles, essas versões obtiveram um melhor desempenho e apresentaram estimativas mais razoáveis.

Bagarello & Iovino (2012) testaram o programa BEST para prever as características de retenção da água de solos na Itália com classes texturais diversas. Os autores observaram que o BEST teve um bom desempenho em 80% das amostras e concluíram que o procedimento se mostrou razoavelmente rápido e simples.

Santos *et al.*, (2012) utilizaram a metodologia Beerkan na caracterização hidrodinâmica dos solos da bacia experimental do riacho Guaraíra, juntamente com técnicas de Sistemas de Informação Geográfica. O levantamento de campo foi realizado por meio da subdivisão da bacia em 196 pontos. De acordo com o estudo textural do solo da bacia 70,2% das amostras ensaiadas são classificadas como areia, 26,3% como areia franca e 3,5% como sendo franco-arenosa.

Para os autores solos compostos por areia e areia franca possuem baixa capacidade de retenção devido ao espaço poroso formado por uma grande quantidade de poros hidraulicamente funcionais, os quais estão diretamente relacionados com a

distribuição do tamanho das partículas dessas classes. Com relação à condutividade hidráulica, esta mostrou-se discretamente mais alta nos solos formados por areia e areia franca, e um pouco mais baixa nos solos de classe textural franco arenosa. No que diz respeito a retenção, os autores notaram que os solos possuem como característica em comum uma elevada variação no teor de umidade e uma pequena capacidade de retenção. Concluíram que o método Beerkan apresentou-se como um método promissor e eficiente para a caracterização hidrodinâmica dos solos da bacia, além de tornar mais fácil o estudo da variabilidade espacial das propriedades hidráulicas dos solos.

Coelho *et al.*, (2010) apresentaram os primeiros resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia Beerkan para a determinação das propriedades hidrodinâmicas do solo da bacia representativa do rio Gramame, no Estado da Paraíba. A pesquisa foi desenvolvida em 28 pontos distribuídos na bacia hidrográfica. Os autores observaram que grande parte dos pontos levantados foi classificado como sendo de textura areia, representando 89,28% do total das amostras, seguido pela areia franca, com 8,92%, e franco arenoso, com apenas 1,78% do total. No estudo, os testes de infiltração, utilizando a metodologia Beerkan, apresentaram alguns comportamentos contrários ao proposto pelo método. Em pouco menos que 50% das amostras coletadas as curvas de infiltração não atingiram o regime permanente, sem estabilização após várias repetições do teste. Segundo os autores esses pontos devem ser refeitos, para que os resultados apresentem uma maior representatividade do local estudado.

Os resultados encontrados por esses autores mostram uma maior condutividade hidráulica na porção central da bacia, local este que também apresentou a maior proporção de areia. E concluíram que a aplicação do método Beerkan mostrou-se apropriado para modelar a infiltração tridimensional no campo e permitir a caracterização hidrodinâmica dos solos da bacia em estudo.

Souza *et al.*, (2008a) analisaram a variabilidade espacial dos parâmetros das curvas $\theta(h)$ e $K(\theta)$ obtidos com o método Beerkan, em dois solos cultivados com feijão. Os ensaios de campo foram conduzidos em duas parcelas experimentais, com condições ambientais e solos bem diferenciados. Um Neossolo Flúvico e um Latossolo Amarelo, ambos no Estado da Paraíba. Os trabalhos experimentais buscaram medir as propriedades físico-hídricas numa malha de pontos (80 para o Neossolo e 81 para o Latossolo) equidistantes 25 x 25 m para a análise da variabilidade espacial desses solos. A partir das curvas de distribuição dos tamanhos das partículas os autores observaram maior variação textural no Neossolo Flúvico do que no Latossolo Amarelo. Quanto aos

testes de infiltração, observaram que as diferentes classes texturais demonstram diferenças qualitativas e quantitativas, devido os efeitos texturais e estruturais no fluxo de água.

2.4.2 Processo de Infiltração em diferentes tipos de Solo

Lassabatère *et al.*, (2010) descreveram o efeito da acumulação de sedimentos sobre a capacidade de infiltração da água de duas bacias de infiltração urbanas localizadas em dois subsolos diferentes na França. Nesse estudo, os ensaios de infiltração de água e o algoritmo BEST serviram para derivar as propriedades hidrodinâmicas dos sedimentos e subsolos, onde os autores baseados nos ensaios de infiltração, demonstraram que os sedimentos afetam a infiltração de água nos solos das bacias estudadas.

Tucci e Clarke (1997) discutem que a capacidade de infiltração depende do tipo e do uso do solo. Normalmente, essa capacidade em solos com floresta é alta, o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir dramaticamente, resultando em maior escoamento superficial.

Ainda segundo esses autores, em bacias hidrográficas com floresta e vegetação fechada, as precipitações de baixa intensidade normalmente não geram escoamento. No entanto, após um período chuvoso de grande intensidade, quando a capacidade de interceptação da bacia é atingida, o escoamento aparece e as diferenças com relação ao volume escoado em bacias desmatadas são menores. Logo, o impacto do uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias rurais é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos.

Alves *et al.*, (2007) objetivaram recuperar as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho remanescente da área de onde se retirou solo em Ilha Solteira – SP, com adubação verde, lodo de esgoto e plantas da espécie gonçalo-alves. Como indicadores de qualidade física, utilizaram a densidade aparente do solo e a infiltração de água. A determinação da infiltração de água no solo foi avaliada nas parcelas que receberam os tratamentos e em uma área de vegetação original, de modo que possibilitasse a comparação com os tratamentos testados. Após um ano, o solo estudado demonstrou recuperação de suas propriedades, pois, em todos os tratamentos para recuperação, houve diminuição significativa da densidade aparente do solo. Eles

concluíram que esse comportamento provavelmente está mais associado ao efeito da mobilização mecânica do solo

Para esses autores, quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos), o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento de fluido, afetando com isso o processo de infiltração.

Segundo eles, os valores mais altos da infiltração na área com cobertura vegetal devem, provavelmente, à influência que esta exerce sobre as propriedades físicas do solo. Sua influência manifesta-se essencialmente por meio da proteção de sua parte aérea contra o impacto das gotas de chuva e do efeito cimentante e estabilizador de substâncias orgânicas excretadas pelas raízes, principalmente aquelas sintetizadas pelos microrganismos do solo no processo de decomposição.

Catan *et al.*, (2009) avaliaram o efeito da redistribuição da precipitação pela copa das plantas e os processos envolvidos como origem do escoamento e taxa de infiltração durante um evento de precipitação. O experimento foi realizado em Guadalupe (Caribe) em áreas cultivadas com banana. Eles observaram que as plantas tem um papel importante no processo de escoamento, pois o fluxo de água do caule da planta ou escoamento pelo tronco altera substancialmente o incidente da taxa de precipitação na superfície do solo.

Tian *et al.*, (2007) analisaram as alterações das propriedades físicas de um solo na Nova Zelândia, investigando os impactos do pisoteio animal sobre a infiltração. Os autores realizaram experimentos de simulação de chuva após o tratamento do solo com pisoteio animal. E deduziram que, solos com matéria orgânica abundante tendem a ser resistentes à compactação, onde esta atua auxiliando a infiltração de água no solo.

O estudo de Bertol *et al.*, (2001) avaliaram as alterações na estabilidade dos agregados em água, resistência do solo ao penetrômetro e taxa de infiltração de água, num Cambissolo Húmico Alumínico submetido ao preparo convencional e à semeadura direta por quatro anos seguidos, bem como de um campo nativo sob pasto. O trabalho foi desenvolvido no período de 1995 a 1999, no Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (SC), sobre um Cambissolo Húmico Alumínico Argiloso. Foram avaliadas a estabilidade dos agregados em água e a resistência do solo ao penetrômetro, ambos nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-10,0 e 10,0-15,0 cm, e a taxa de infiltração de água no solo, em local escolhido aleatoriamente em cada parcela experimental. Alguns

valores de resistência do solo ao penetrômetro foram muito baixos. Os autores explicam, baseados no intenso revolvimento do solo na superfície e, também, pelos tratamentos culturais aplicados, como capinas manuais, a diminuição da densidade do solo e o aumento do volume de macroporos na superfície.

Sales *et al.*, (1999) estimaram a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) a partir de outros atributos físicos do solo a ela associados, mas de mensuração mais fácil e de maior reprodutibilidade. O trabalho foi conduzido em dois solos ocorrentes no campus da Universidade Federal de Lavras: um Latossolo Roxo, textura muito argilosa, estrutura granular, e um Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa, estrutura em blocos. Os resultados das determinações da VIB e das propriedades físicas das camadas de 0-20 cm e 60-80 cm do Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Roxo foram bastante contrastantes. Os autores associaram esses resultados às distintas características morfológicas associadas à estrutura dos horizontes desses solos.

Pott & De Maria (2003) compararam quatro métodos diferentes de infiltração para medir a Velocidade de Infiltração Básica em diferentes tipos de solo sob plantio direto para verificar as relações entre esses métodos e os atributos do solo. O estudo foi realizado no Centro Experimental de Campinas, estado de São Paulo, em três solos: um Latossolo Vermelho eutrófico típico de textura argilosa, um Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média e um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura arenosa/média. Todas as áreas foram cultivadas sob sistema de plantio direto com culturas anuais há pelo menos cinco anos. Os locais foram escolhidos por causa das diferentes classes texturais. Os autores encontraram diferença significativa entre os valores de VIB obtidos por meio de cada método de determinação nos três solos estudados.

Nesse estudo, em todos os solos, houve diminuição da densidade e aumento da porosidade total com o aumento da profundidade. A maior densidade e a menor porosidade na superfície foram atribuídas ao sistema de manejo adotado nas áreas. Em sistema de plantio direto existe tendência de aumento da densidade na superfície do solo. Os autores concluíram que os métodos de avaliação da VIB comportaram-se diferentemente em relação ao tipo de solo.

Pinheiro *et al.*, (2009) determinaram a capacidade de infiltração dos solos da bacia experimental do ribeirão Concórdia, localizada no município de Lontras em Santa Catarina, em função do tipo de uso da terra e do manejo agrícola. O estudo foi desenvolvido a partir de ensaios de infiltração realizados em 20 pontos amostrais,

localizados em solos Cambissolo Háplico Alumínico típico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico Ta Alumínico típico. A capacidade de infiltração foi determinada pelo método dos anéis concêntricos. Observaram que o plantio convencional promove o revolvimento do solo, desestruturando-o e favorecendo o processo de infiltração de água no solo. Notaram ainda que a mata nativa apresenta capacidade de infiltração superior à dos demais usos do solo. Concluíram que, nas áreas com rotação de culturas, a capacidade de infiltração foi superior para o plantio convencional, devido à movimentação do solo ocasionado. Compararam as diferentes atividades exercidas nos pontos amostrais, e observaram que os maiores valores de capacidade de infiltração se localizam nas matas nativas e os menores, nos locais onde a atividade é a pastagem.

2.4.3 Impactos das Técnicas de Manejo de Culturas nos Solos

Gonzalez-Sosa *et al.*, (2010) afirmam que as atividades humanas como as práticas agrícolas (plantio, lavoura), mudanças no uso da terra relacionado com a urbanização, industrialização, atividade de desmatamento ou de reflorestamento em áreas agrícolas abandonadas, podem afetar significativamente as camadas superficiais do solo e suas propriedades hidráulicas.

Lanzanova *et al.*, (2007) avaliaram as alterações em algumas propriedades físicas do solo induzidas pela utilização de diferentes frequências de pastejo em pastagens de inverno e a influência do aporte de palha e crescimento do sistema radicular das culturas da soja e do milho na redução da compactação do solo provocada pelo pisoteio bovino. O experimento de campo foi realizado em área pertencente à Agropecuária Capitão Rodrigo, situada no município de Jari, Rio Grande do Sul. Os autores observaram que a compactação do solo, decorrente do pisoteio bovino, durante os três anos de duração do estudo, segundo os valores de densidade do solo, limitou-se à camada superficial. Os sistemas de manejo da pastagem de inverno influenciaram os valores de resistência mecânica do solo à penetração, em toda a camada avaliada. Concluíram que a avaliação de infiltração de água no solo foi o atributo físico mais sensível em diferenciar os tratamentos investigados e, que os sistemas de pastejo testados, proporcionaram compactação de solo.

Segundo Biassusi (2001) em situações agrícolas a campo, raramente se dispõe de uma condição ótima de água no solo para culturas durante um período de tempo muito longo. O fornecimento natural de água pode variar de deficiente a excessivo, de um dia para o outro e durante toda a estação. Um nível ótimo real é difícil de ser determinado, já que é afetado por uma gama de outros fatores e condições que estão constantemente mudando. Mas, sendo conhecidas as faixas de água no solo que possibilitam maiores produtividades das plantas cultivadas, fica o desafio de manejá-la de maneira a mantê-la dentro dessas faixas.

Para Bertol *et al.*, (2001) a degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica. Algumas práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nas referidas propriedades, principalmente na sua estrutura, podendo tais alterações serem permanentes ou temporárias. Para os autores o solo submetido ao cultivo tende a perder a estrutura original, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com consequente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo.

Segundo esses autores, em solos intensamente cultivados pelos preparos convencionais, o surgimento de camadas compactadas, com redução do volume de macroporos e aumento de microporos, determina uma diminuição do volume de poros ocupado pelo ar e um aumento na retenção de água. Redução na taxa de infiltração de água no solo é a propriedade que melhor reflete o grau de degradação do sistema poroso do solo.

Para Silva *et al.*, (2007) as características da vegetação influenciam a dinâmica da água, notadamente como fator de redução da evaporação e do aumento da capacidade de infiltração e proteção do solo contra os efeitos danosos provocados pelo impacto das gotas de chuva, evitando carregamento e posterior sedimentação de partículas nas partes mais baixas do terreno, principalmente para os cursos d'água alterando, sobremaneira, sua qualidade.

Ainda segundo esses autores, a presença de cobertura vegetal favorece a implementação da qualidade física do solo uma vez que possibilita melhoria na agregação e elevação da resistência a erosão hídrica, contribuindo para elevar seu potencial agrícola, porém quaisquer alterações na composição química e estrutura do solo serão refletidas nas características físicas e químicas da água, tanto superficial quanto subterrânea; assim, ocorrendo aumento da infiltração, uma possível alteração nas

características das águas subterrâneas é favorecida, ao passo que, quando os processos erosivos de alta intensidade prevalecem, como aqueles provocados pelo escoamento superficial, podem ocorrer alterações nas águas superficiais.

Silva *et al.*, (2012) realizaram uma caracterização físico-hídrica mais detalhada de perfis de solos predominantes na bacia Representativa do Alto Ipanema, no semiárido de Pernambuco. Objetivaram ampliar o conhecimento do potencial hidrológico de bacias hidrográficas experimentais dessas regiões e gerar um banco de dados para subsidiar a modelagem hidrológica nas bacias estudadas, verificando, também, a influência de tratamentos conservacionistas na condutividade hidráulica em subsuperfície. A análise da distribuição do tamanho das partículas mostrou que o solo está classificado como um solo argiloso, o que resultou em um pequeno aumento na porcentagem de areia e uma pequena diminuição nas porcentagens de silte e argila em comparação com os encontrados no estudo de campo de 1990. Os autores concluíram que, os resultados do trabalho aumentaram a compreensão sobre o fluxo de água nos campos agrícolas, onde recomendam um uso mais sustentável e gestão do solo e dos recursos hídricos, utilizando por exemplo, práticas agrícolas, como irrigação de precisão facilmente implementada com os sistemas de irrigação por gotejamento.

Ceddia *et al.*, (1999) avaliaram o efeito de dois sistemas de manejo do palhicho da cana-de-açúcar antes da colheita, sobre algumas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo em área de tabuleiro no Estado do Espírito Santo. Discutiram que as atuais técnicas de manejo da cultura da cana-de-açúcar utilizam um vigoroso revolvimento por ocasião do plantio, com o uso de arados, grades pesadas e subsoladores. Ainda, ao fim do ciclo de produção, é comumente realizada a queima da palhada da cana antes da colheita, o que é prejudicial à manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo.

Ainda segundo esses autores, ao realizar testes nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, identificaram que a condutividade hidráulica saturada não foi alterada significativamente pelo sistema de manejo na colheita da cana. Em profundidade, observaram uma pequena redução do fluxo de água, mas essa redução foi explicada como provavelmente, resultante da mudança na textura. No sistema Cana Queimada, a degradação das propriedades do solo foi evidenciada pela redução do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis e pelo aumento da densidade do solo na profundidade de 0-5 cm, com consequente diminuição da velocidade de infiltração instantânea da água no solo.

O estudo de Borges *et al.*, (1999) avaliou as alterações das propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico franco argilo-arenoso, do município de Cruz das Almas (BA), com o cultivo de fruteiras perenes em comparação com o solo sob mata nativa. Os autores observaram quanto à macroporosidade ou porosidade de aeração, que nos horizontes superficiais esta macroporosidade foi maior no solo sob mata do que nos solos cultivados. O solo sob mata apresentou ainda quantidade de microporos 1,1 vezes superior à dos solos cultivados. Com relação aos agregados cujos solos com maior percentagem de agregados estáveis em água podem ser considerados relativamente mais resistentes à deformação e à quebra, observaram a distribuição dos agregados em três classes para as diferentes coberturas vegetais e para o horizonte superficial, onde os solos sob mata apresentaram maiores quantidades de agregados com o diâmetro superior a 2,00mm.

Centurion *et al.*, (2001) avaliaram as alterações das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho, sob diferentes formas de manejo, em relação ao solo em seu estado natural (mata), no município de Jabuticabal, São Paulo. Os autores deduziram que nos solos estudados, as condições físicas sofreram modificações acentuadas em função do manejo. A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, promoveram o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas e, limitando sua utilização agrícola, tornando-o mais propenso à erosão. Essa degradação foi quantificada por meio de maiores valores de resistência do solo à penetração e menores valores de velocidade de infiltração de água.

Silva *et al.*, (2007) exploraram os efeitos benéficos e adversos sobre as propriedades químicas do solo e da água, causados pela aplicação de vinhaça. Os resultados foram bastante variáveis em razão da grande diversidade de solos e composição da vinhaça. Quanto à dosagem aplicada que apresentaria menores chances de contaminação de águas subterrâneas sugerem que deve ser relacionada ao tipo e condições do solo local, isto é, de acordo com o conteúdo de matéria orgânica, classe textural, existência de vinhaça residual, uma vez que esses exercem influência sobre a capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, além da profundidade do lençol freático, da proximidade de nascentes e da intensidade de atividade vegetal na área.

Abreu *et al.*, (2004) identificaram o efeito de sistemas de manejo em propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo e avaliaram a ruptura de camadas

compactadas, usando escarificação e plantas com sistema radicular agressivo. O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa Maria – RS, em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. A textura superficial é franco-arenosa e a subsuperficial, franco-argilosa. Concluíram que, usando o indicador ‘condutividade hidráulica do solo saturado’, a escarificação biológica foi mais eficaz, em médio prazo, na ruptura da camada compactada e estabelecimento de poros condutores de água, quando comparada com a escarificação mecânica do solo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na área que compreende a bacia hidrográfica do rio Gramame, que possui aproximadamente 590 km² de área de drenagem e está localizada entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, na região litorânea sul, próxima à capital do Estado da Paraíba, João Pessoa, de acordo com a Figura 3. A bacia hidrográfica é considerada estratégica por constituir-se na principal fornecedora de água para o conglomerado urbano formador da grande João Pessoa, da população residente no seu espaço geográfico, e das outras atividades que encontram sustentabilidade através dos recursos naturais na bacia hidrográfica (PDRH, 2000).

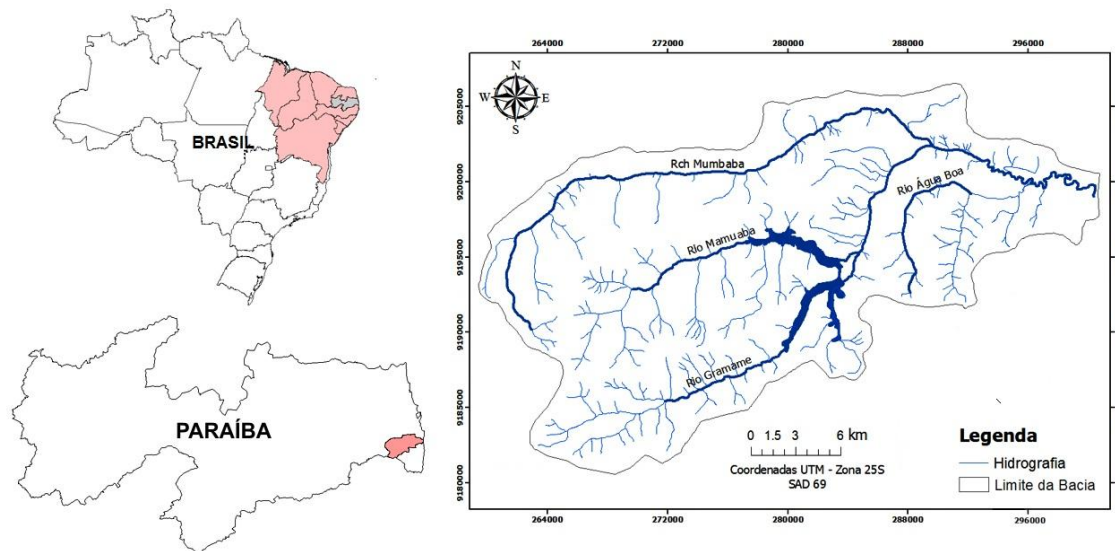


Figura 3- Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame.

Seus principais cursos d'água, além do principal, o Gramame, com extensão de 54,3 km, são os afluentes Mumbaba, Mamuaba e Água Boa, todos perenes. O principal reservatório fluvial da região litorânea do Estado, o Gramame-Mamuaba, também localiza-se na bacia hidrográfica.

A potencialidade hídrica total da bacia hidrográfica do rio Gramame foi estimada no PDRH (2000) em 10,21 m³/s, ou seja, a bacia dispõe de um volume anual de 322,16 milhões de m³, sendo 106,85 milhões de m³ referentes à potencialidade hídrica subterrânea; o que corresponde à quantidade máxima de água que pode ser disponibilizada para o atendimento a demanda populacional; contudo, essa demanda já foi alterada com o passar dos anos, porém não têm-se referências atuais.

A exploração agrícola representa a maior área de ocupação, além do maior consumo de água, tendo como principais culturas a cana-de-açúcar e o abacaxi, como mostra a Figura 4.

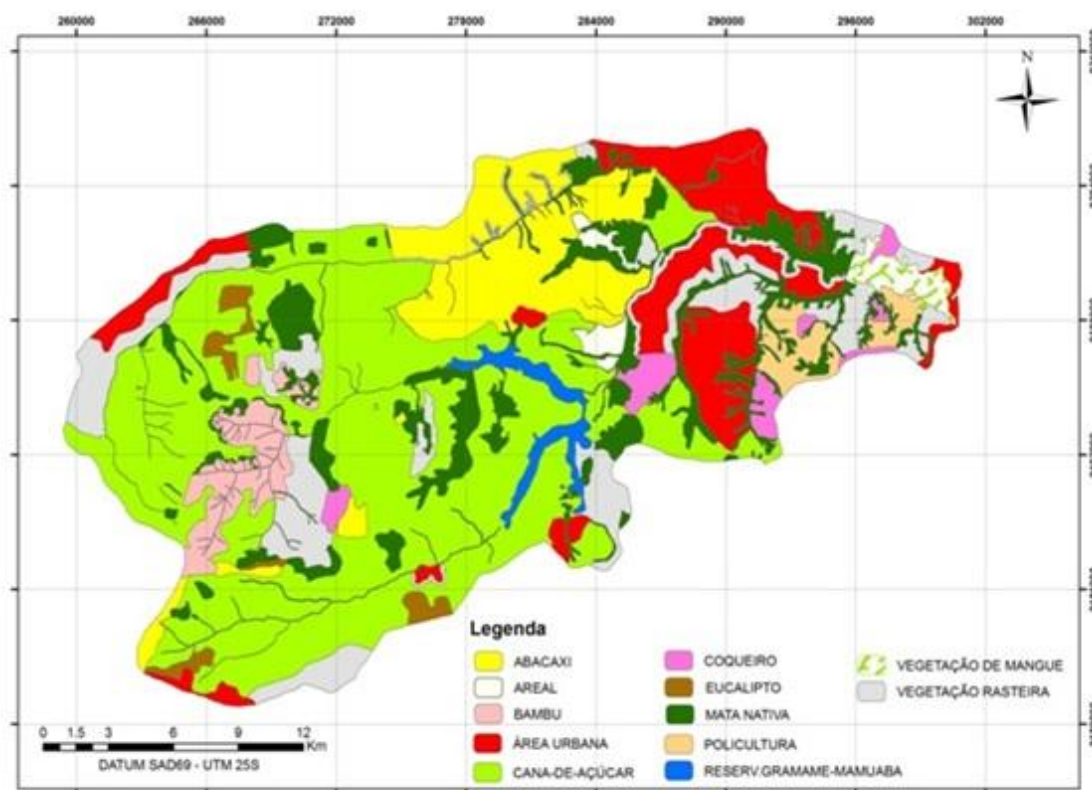


Figura 4- Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame (Adaptado de Coelho, 2011).

Segundo Coelho (2011) a área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar, corresponde a 42,31% da área total e a do abacaxi a 11,19%. As classes de vegetação rasteira, que correspondem às áreas de pasto e de solos parcialmente descobertos, ocupam 11,33% e são maiores do que as áreas urbanas (10,61%). Os conglomerados urbanos de destaque da bacia são partes da cidade de João Pessoa, Pedras de Fogo, Cruz do Espírito Santo, São Miguel de Taipu e Conde. Os domínios correspondentes à mata nativa, ciliar e vegetação de mangue, ocupam juntas, 14,98% da área, o que caracteriza que a bacia é pouco preservada. Os outros usos e coberturas do solo representam juntos 10,17%. Para Santos, (2004), além da exploração agrícola, tem-se o consumo industrial, concentrado principalmente no Distrito Industrial de João Pessoa; mineração; turismo e lazer; dessedentação de animais; e recepção de esgotos domésticos e industriais.

A bacia hidrográfica do rio Gramame possui uma grande diversidade no quadro vegetal, cujas unidades fitogeográficas são determinadas, além das condições climáticas, pelas condições variadas dos compartimentos morfológicos e pedológicos

presentes na região, com destaque para a Mata Atlântica, os Cerrados, os Manguezais e os Campos de Várzea (COELHO, 2011).

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos dessa bacia, a cobertura vegetal apresenta um índice elevado de devastação, como consequência da exploração desordenada voltada para as atividades de irrigação, de mineração, industrial e turística, além da urbanização crescente no território da bacia hidrográfica (PDRH, 2000).

O relevo, que também contribui para a vazão afluyente, é caracterizado como predominantemente ondulado, relativamente compacta e regular, com as sub-bacias variando de suave a ondulado. Sendo assim, segundo o PDRH (2000), pouco sujeita a processos de enchentes sob suas condições naturais em que não há interferência humana. A maior parte da bacia encontra-se assentada sobre os sedimentos da Formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas.

A bacia hidrográfica do rio Gramame está inserida na região litorânea, que possui a maior média anual de precipitação do Estado, variando entre 1400-1800 mm. Os ventos predominantes são os alísios de Sudeste, com velocidade moderada, a classificação climática para a região de acordo com Köppen indica para um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com chuva predominante de outono-inverno. Sua temperatura apresenta-se elevada durante o ano todo, com uma média de 26 °C (PDRH, 2000).

Predominantemente no litoral paraibano as chuvas ficam concentradas no período que vai do mês de março e estende-se até o mês de agosto. O resto do ano fica sujeito às chuvas ocasionais, sendo os meses de outubro, novembro e dezembro os que apresentam menor índice pluviométrico ao longo do ano (FONSECA, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para dar início à pesquisa realizou-se um levantamento bibliográfico a respeito da temática proposta, objetivando traçar a metodologia adequada para atingir os objetivos citados anteriormente. Várias atividades de campo também foram realizadas para coletar dados das propriedades hidrodinâmicas superficiais do solo. Com o auxílio do mapa atual do uso e ocupação do solo que foi elaborado a partir de imagens de satélites e visitas in loco, e da utilização de um GPS do tipo GARMIM (Gpsmap76csx), com precisão de 2 metros. Atividades de laboratório também foram necessárias para o armazenamento e processamento dos dados. Para tanto, foram utilizados o Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA), o Laboratório de Hidráulica, e o Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (LEGAM), todos pertencentes à Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

4.1 Determinação das Propriedades Hidrodinâmicas do Solo

Os testes de infiltração para a determinação das propriedades hidrodinâmicas dos solos foram realizados em 10 pontos selecionados de maneira bem distribuída espacialmente na bacia hidrográfica (Figura 5). Onde as propriedades hidrodinâmicas da camada superficial da zona não saturada do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame foram obtidas em três áreas distintas – áreas cultivadas com cana-de-açúcar e abacaxi e as áreas de mata atlântica, para realizar uma comparação entre elas.

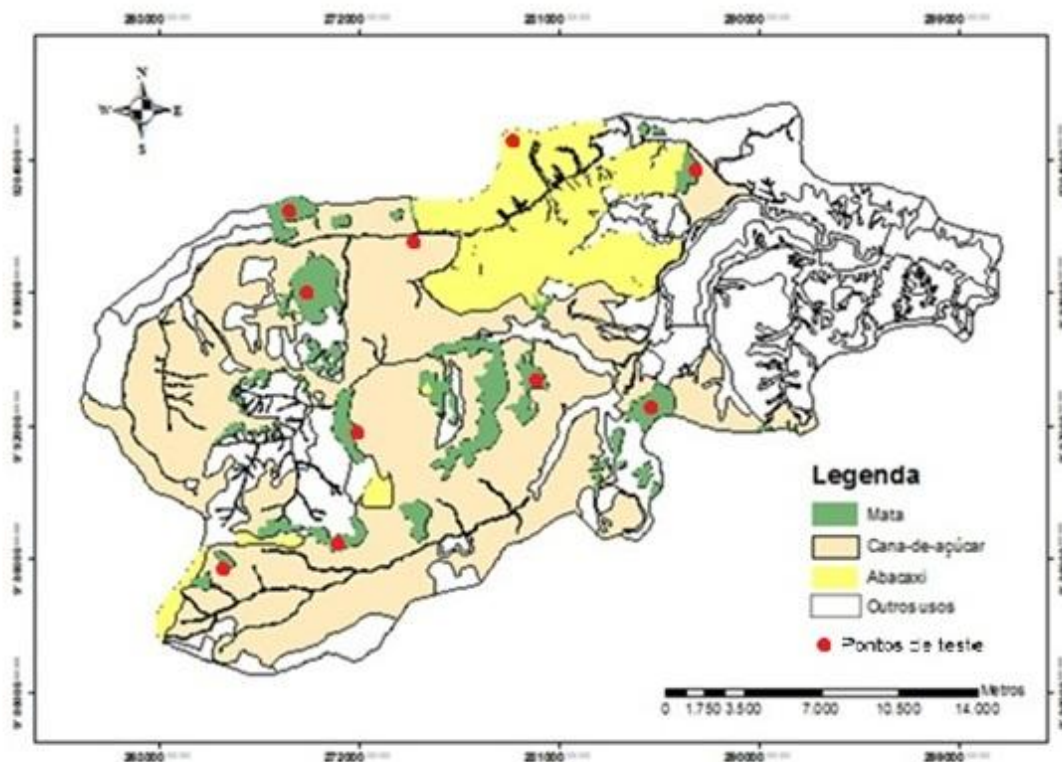


Figura 5- Áreas selecionadas e os pontos escolhidos para a determinação das propriedades hidrodinâmicas do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame (Érika Gonçalves Sales, 2012)

Os dados realizados para essa comparação são relativos à condutividade hidráulica $K(\theta)$, à retenção de água no solo $\theta(h)$ e à granulometria. Para tanto, foram realizados ensaios de infiltração, coleta de amostras de solo no campo e análises de laboratório utilizando a metodologia Beerkan, elaborada por Haverkamp *et al.* (1999). A aplicação desse método permite determinar as curvas de condutividade hidráulica e a retenção da água no solo, através do ajuste matemático das curvas de infiltração, como apresentado a seguir.

4.2 Atividades de Campo

Os pontos onde foram realizados os testes de infiltração foram distribuídos de acordo com o uso e ocupação do solo, com ensaios em áreas de mata atlântica, em áreas cultivadas com abacaxi e em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A aplicação do método Beerkan se dá a partir de um teste simples de infiltração utilizando um anel de

PVC com raio de 9 cm, juntamente com coletas de solo para determinar a granulometria, umidade inicial e final e massa específica do solo.

O ensaio de infiltração pelo método Beerkan empregado neste trabalho caracteriza-se pelo posicionamento do anel de PVC na superfície do solo (Figura 6), sendo inserido a uma profundidade de cerca de 1 cm para evitar a perda lateral da água despejada na superfície. Primeiramente, é feita uma limpeza rápida no local para remover a vegetação superficial, e em seguida são coletadas duas amostras de solo – uma para determinar a umidade inicial do solo e outra, em quantidade maior, para a realização da análise granulométrica.



Figura 6- Teste de infiltração tridimensional para a determinação da condutividade hidráulica da bacia hidrográfica (Foto: Érika Gonçalves Sales, 2012)

Feito isto, são adicionados volumes de 200 ml para manter a carga hidráulica de 1 cm sem causar turbulências; e marca-se os tempos que esses levam para infiltrar, até que se perceba que esses tempos de infiltração se tornaram constantes. Após o término do ensaio de infiltração, amostras do solo foram coletadas para a determinação da umidade gravimétrica inicial, da curva de distribuição do tamanho das partículas (Figura 7), da massa específica aparente (amostra indeformada) e da umidade gravimétrica final (Figura 8).



Figura 7- Coleta de amostras para a determinação da umidade inicial (A) e determinação da curva granulométrica (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012)



Figura 8- Coleta de amostras para a determinação da massa específica (A) e da umidade gravimétrica final (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012)

Todos os dados coletados em campo foram anotados em planilhas específicas para o método, dispostas no APÊNDICE A. Nessas planilhas constam dados como localização do ponto, tempo de infiltração da lâmina de água, numeração dos recipientes onde são acondicionadas as amostras de solo, bem como observações relacionadas aos testes.

A realização do teste de infiltração de Beerkan foi realizada em triplicata, com pontos locados a uma distância aproximada de 3 metros.

4.3 Atividades de Laboratório

As amostras de solos coletadas para a determinação da densidade e umidades gravimétrica inicial e final foram levadas para o Laboratório de Hidráulica, onde foram pesadas sob as condições de campo e em seguida colocadas na estufa para secagem durante 24 horas (Figura 9) a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C e pesadas novamente.

As umidades gravimétrica inicial (w_0) e final (w_f), e a massa específica do solo ρ_d , foram obtidas por meio das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \quad (4)$$

Em que V_a é o volume de água da amostra e V_t o volume total da amostra.

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad (5)$$

sendo M_s a massa da amostra seca e V_t o volume total da amostra.



Figura 9- Balança para pesagem das amostras (A) e Estufa para secagem das amostras (B) (Fotos: Érika Gonçalves Sales, 2012)

Para a determinação das curvas de distribuição dos tamanhos das partículas é realizado o peneiramento das amostras, seguindo as normas estabelecidas pela NBR – 7181 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984).

Inicialmente, a amostra coletada em campo foi pesada e peneirada nas peneiras com abertura de malha #3/4, #3/8, #4 e #10, onde do material que passou no peneiramento foi retirado uma amostra de 50g para a determinação da umidade

higroscópica e secado na estufa a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C durante um período de 24 horas e depois pesado.

Ainda do material que passou no peneiramento foi retirada outra amostra de 100g para ser “lavada” na peneira de abertura de malha #200. Após a “lavagem” para a retirada da matéria orgânica em suspensão, o material foi levado à estufa por 24 horas a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C para secagem; onde esse material seco é peneirado no conjunto de peneiras com abertura de malha #16, #30, #40, #50, #100 e #200 (Figura 10), onde foi anotado o peso do material retido em cada peneira. Esse peneiramento a seco determina as frações de areia para os diferentes tipos de solo presentes na bacia hidrográfica e suas respectivas classes texturais, de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (SBCS).



Figura 10- Conjunto de peneiras e agitador (Foto: Érika Gonçalves Sales, 2012)

4.4 O Método Beerkan

Mediante a realização dos ensaios empíricos simplificados de infiltração e da análise de distribuição do tamanho das partículas do solo, foram determinados pelo método Beerkan as curvas de retenção da água no solo $\theta(h)$ e da condutividade hidráulica $K(\theta)$.

As curvas $\theta(h)$ e $K(\theta)$ são descritas por cinco parâmetros, dois de forma e três de normalização (HAVERKAMP *et al.*, 1994; LASSABATÈRE *et al.*, 2006). Os parâmetros de forma foram obtidos a partir da curva de distribuição dos tamanhos das partículas $F(D)$ e da porosidade, ou seja, são dependentes da textura do solo, enquanto

que os parâmetros de normalização foram determinados a partir de experimentos de infiltração e dependem da estrutura do solo (BRAUD *et al.*, 2005).

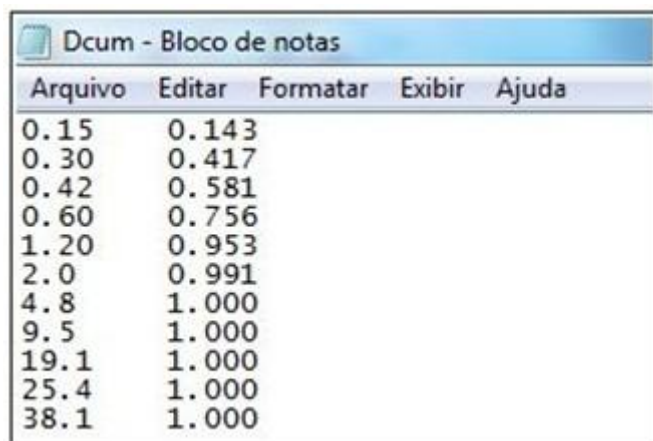
Esse método se baseia em experimentos de campo, utilizando propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva granulométrica e a curva de infiltração da água no solo. O método utiliza-se dois modelos, o de Van Genuchten (1980) e o de Brooks e Corey (1964), para descrever a curva de retenção $\theta(h)$ e a curva de condutividade hidráulica $K(\theta)$, descritas nas equações 6 e 7, respectivamente, onde a equação 6 utiliza o modelo de Burdine, (1953).

$$\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right) = \left[1 + \left(\frac{h}{hg}\right)^n\right]^{-m} \quad \text{com } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (6)$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}\right)^\eta \quad (7)$$

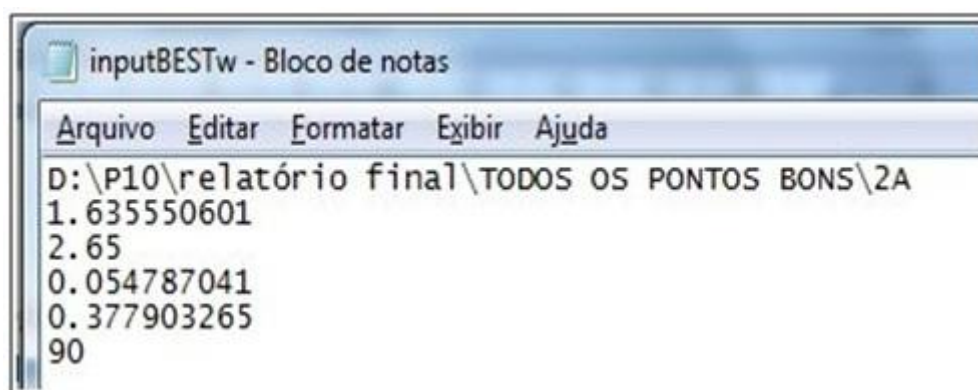
sendo θ a umidade volumétrica; θ_r e θ_s as umidades residual e saturada; h o potencial matricial; hg o valor da escala de h ; n e m são os parâmetros de forma; K_s a condutividade hidráulica saturada do solo; e η o parâmetro de forma para a curva da condutividade hidráulica.

As Equações (6) e (7) contêm cinco parâmetros a serem determinados: dois de forma (m ou n e η) e três parâmetros de normalização (θ_s , K_s e hg). Os parâmetros de forma e normalização estão relacionados à textura e a estrutura do solo, respectivamente, e foram obtidos por meio da utilização do programa BEST, desenvolvido por Lassabatère *et al.* (2006). Para obter os parâmetros de forma e normalização, bem como as curvas de condutividade hidráulica e retenção de água no solo por meio do programa BEST, devem ser criados três arquivos de entrada: o Dcum.txt, que possui os dados de granulometria (Figura 11), o inputBESTw.txt, com os valores de densidade, massa específica, umidade, e raio do cilindro utilizado nos testes de infiltração (Figura 12), e o Iexp_t.txt, que possui os dados de infiltração (Figura 13).



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
0.15	0.143			
0.30	0.417			
0.42	0.581			
0.60	0.756			
1.20	0.953			
2.0	0.991			
4.8	1.000			
9.5	1.000			
19.1	1.000			
25.4	1.000			
38.1	1.000			

Figura 11- Arquivo de entrada com os dados da granulometria para o programa BEST. Na primeira coluna estão os dados do diâmetro das partículas (mm) e na segunda coluna suas respectivas porcentagens do material passante.



```

Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
D:\P10\relatório final\TODOS OS PONTOS BONS\2A
1.635550601
2.65
0.054787041
0.377903265
90

```

Figura 12- Arquivo de entrada com os dados do diretório a ser utilizado, densidade do solo, massa específica da partícula do solo (constante), umidade inicial, umidade final e raio do cilindro, respectivamente, para o programa BEST.

Iexp_t - Bloco de notas		
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda		
p	0	
7.859503363	8	
15.71900673	25	
23.57851009	42	
31.43801345	59	
39.29751681	75	
47.15702018	88	
55.01652354	101	
62.8760269	115	
70.73553026	129	
78.59503363	143	
86.45453699	157	
94.31404035	171	
102.1735437	185	
110.0330471	198	
117.8925504	213	
125.7520538	227	
133.6115572	241	
141.4710605	256	
149.3305639	271	

Figura 13- Arquivo de entrada com os dados de infiltração para o programa BEST. Na primeira coluna encontram-se os dados da lâmina infiltrada (mm) e na segunda coluna os tempos (s) de infiltração.

4.4.1. Formulação dos Parâmetros de Forma Utilizados pelo Programa BEST

Os parâmetros de forma podem ser determinados por meio da similaridade de forma entre a curva de distribuição do tamanho das partículas $F(D)$ e da curva de retenção da água no solo $\theta(h)$, onde $F(D)$ foi definido por Haverkamp & Parlange (1986) pela seguinte expressão:

$$F(D) = \left[1 + \left(\frac{D_g}{D} \right)^n \right]^{-m} \quad \text{com } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (8)$$

sendo D o diâmetro da partícula [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 da curva de retenção m e n são obtidos a partir do índice de forma do meio p_m pelas seguintes equações:

$$m = \frac{1}{p_m} \left(\sqrt{1 + p_m^2} - 1 \right) \quad (9a)$$

$$n = \frac{2}{1-m} \quad (9b)$$

p_m é estimado a partir de m e n por Zataráin *et al.* (2003):

$$p_m = \frac{mn}{1+m} (1+k)^{-1} \quad (10)$$

Onde k é um coeficiente definido por Fuentes *et al.* (1998):

$$k = \frac{2s-1}{2s(1-s)} \quad (11)$$

E s é a dimensão fractal relativa. A dependência de s com respeito à porosidade total do solo (ϕ) é definida por Fuentes (1992):

$$(1-\phi)^s + \phi^{2s} = 1 \quad \text{com } \frac{1}{2} < s < 1 \quad (12)$$

Na equação da curva de condutividade hidráulica de Brooks & Corey (1964), o parâmetro de forma, η , pode ser expresso como uma função do produto dos parâmetros de forma da curva de retenção e do fator de tortuosidade (p):

$$\eta = \frac{2}{mn} + 2 + p \quad (13)$$

onde $p = 1$ para o modelo de Burdine (1953).

4.4.2 Formulação dos Parâmetros de Normalização Utilizados pelo Programa BEST

A partir da umidade gravimétrica saturada e da massa específica do solo foi estimado o parâmetro de normalização θ_s . Os parâmetros K_s e h_g foram obtidos a partir da modelagem dos experimentos de infiltração. Para uma fonte de água circular, com um dado potencial de pressão da água, sobre uma superfície de solo uniforme e com um conteúdo de água inicial uniforme (θ_o), a infiltração acumulada tridimensional $I(t)$ e a taxa de infiltração $q(t)$ foram aproximadas pelas equações para o regime de fluxo

transitório (Equações 14 e 15) e estacionário (Equações 16 e 17). (HAVERKAMP *et al.*, 1994):

$$I(t) = S\sqrt{t} + [aS^2 + bK_s]t \quad (14)$$

$$q(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + [aS^2 + bK_s] \quad (15)$$

$$I_{+\infty}(t) = [aS^2 + K_s]t + c \frac{S^2}{K_s} \quad (16)$$

$$q_{+\infty}(t) = q_{+\infty} = aS^2 + K_s \quad (17)$$

sendo:

$$a = \frac{\gamma}{r\Delta\theta} \quad (18)$$

$$b = \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta + \frac{2-\beta}{3} \left(1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta\right) \quad (19)$$

$$c = \frac{1}{2\left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta\right]^{(1-\beta)}} \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \quad (20)$$

onde S é a sorvidade [L.T^{-1/2}], r o raio do cilindro [L]; γ igual a 0,75 e β igual a 0,6 (valores aplicáveis para a maioria dos solos, quando $\theta_0 < 0,25\theta_s$).

Para a determinação de K_s e S o BEST utilizou equações, equivalentes às Equações 14 e 15, obtidas pela substituição de K_s em função da sorvidade S e da taxa de infiltração no regime estacionário $q_{+\infty}$, ou seja, a Equação 17 nas Equações 14 e 15:

$$I(t) = S\sqrt{t} + [a(1-b)S^2 + bq_{+\infty}]t \quad (21)$$

$$q(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + [a(1-b)S^2 + bq_{+\infty}] \quad (22)$$

O ajuste da Equação 22 aos dados experimentais da infiltração acumulada ($I_{\text{exp}}(t)$) foi obtido pela minimização da função objeto, dada por:

$$f_1(S, K_s, k) = \sum_{i=1}^k [I_{\text{exp}}(t_i) - I(t_i)]^2 \quad (23)$$

onde k é o número considerado de pontos no regime transitório. O algoritmo usado na minimização de $f_1(S, K_s, k)$ foi o de Marquardt (1963) apud Lassabatère *et al.*, (2006) e o desempenho dos ajustes é analisado pelos valores correspondentes ao erro quadrático médio (EQM):

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k [I_{\text{exp}}(t_i) - I(t_i)]^2}{\sum_{i=1}^k (I_{\text{exp}}(t_i))^2}} \quad (24)$$

A sorvidade foi estimada para todos os valores de k de no mínimo cinco pontos de N_{tot} . S_{MAX} é considerada o valor máximo de toda a sequência de pontos. Para obter os valores positivos de K_s , foram levadas em consideração as seguintes condições: S_{MAX}^2 deve ser menor que a taxa de infiltração no regime estacionário ($q_{+\infty}$) dividido pelo coeficiente da Equação 18. A sorvidade máxima S_{MAX} é então definida por:

$$S_{\text{MAX}} = \text{MAX}_{N_{\text{obs}}=5 \dots N_{\text{tot}}-1} \left[\text{MIN} \left(S_{N_{\text{obs}}} (b - 0), \sqrt{\frac{q_{+\infty}}{a}} \right) \right] \quad (25)$$

O K_s é obtido considerando-se o valor verdadeiro de b da Equação 19. O ajuste é feito minimizando a função objeto definida pela Equação 23. Como os ajustes pela Equação 21 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} . O BEST então estima a sorvidade $S(k)$, a condutividade hidráulica $K_s(k)$ em função de $S(k)$ e da Equação 17 para um tempo máximo $t_{\text{max}}(k)$ definido como:

$$t_{\text{max}} = \frac{1}{4(1-b)^2} \cdot t_{\text{grav}} \quad (26)$$

onde t_{grav} é o tempo gravimétrico definido por Philip (1969). $T_{\text{max}}(k)$ é o tempo máximo para o qual as expressões para o regime transitório são válidas. Os valores de $S(k)$ e K_s

são considerados válidos para t_k menores que $t_{\max}(k)$. A partir daí foram escolhidos os valores correspondentes ao maior k . O parâmetro h_g é então obtido pela seguinte equação (LASSABATÈRE *et al.*, 2006):

$$h_g = - \frac{s^2}{c_p(\theta_s - \theta_0) \left(1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta\right)^{K_s}} \quad (27)$$

sendo C_p um parâmetro que depende apenas dos parâmetros de forma n , m e η dos modelos (HAVERKAMP *et al.*, 1999; DE CONDAPPA *et al.*, 2002; SORIA *et al.*, 2003):

$$C_p = \Gamma\left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot \left[\frac{\Gamma\left(n\eta - \frac{1}{n}\right)}{\Gamma(n\eta)} + \frac{\Gamma\left(n\eta + m - \frac{1}{n}\right)}{\Gamma(n\eta + m)} \right] \quad (28)$$

onde Γ é a função gama clássica

5 RESULTADOS DE DISCUSSÕES

Neste capítulo, os resultados obtidos nesta pesquisa são apresentados e discutidos. Primeiramente, são apresentados os resultados relacionados às propriedades hidrodinâmicas superficiais do solo, mediante o mapa de uso e ocupação do solo. Os resultados referentes aos impactos das culturas da cana-de-açúcar e do abacaxi são apresentados logo em seguida.

5.2 Propriedades Hidrodinâmicas dos Solos Estudados

Os ensaios de infiltração e coleta de amostras de solo para análise granulométrica foram realizados em 36 pontos distribuídos pela bacia hidrográfica do Gramame, sendo 15 na cultura da cana-de-açúcar, 15 nas áreas remanescentes de mata atlântica, e 6 na cultura do abacaxi. Desse total, 18 pontos foram executados por Coelho (2011) nos anos de 2009 e 2010 realizando os ensaios em duplicata; 8 pontos foram executados por Silva (2009) entre os anos de 2007 e 2008 realizando os ensaios em uma única vez; e os 10 pontos restantes foram executados pela autora em 2012 realizando os ensaios em triplicata; ambos seguindo metodologia similar, onde a única diferença foi a quantidade de realização de teste num determinado ponto.

Destes pontos, 18 foram utilizados (Figura 14), sendo 4 na área da cultura do abacaxi, 5 na área da cana-de-açúcar e 9 nas áreas remanescentes de mata atlântica. E 18 pontos foram descartados por apresentarem problema na estabilização da curva de infiltração, como mostra a Tabela 1, no APÊNDICE B.

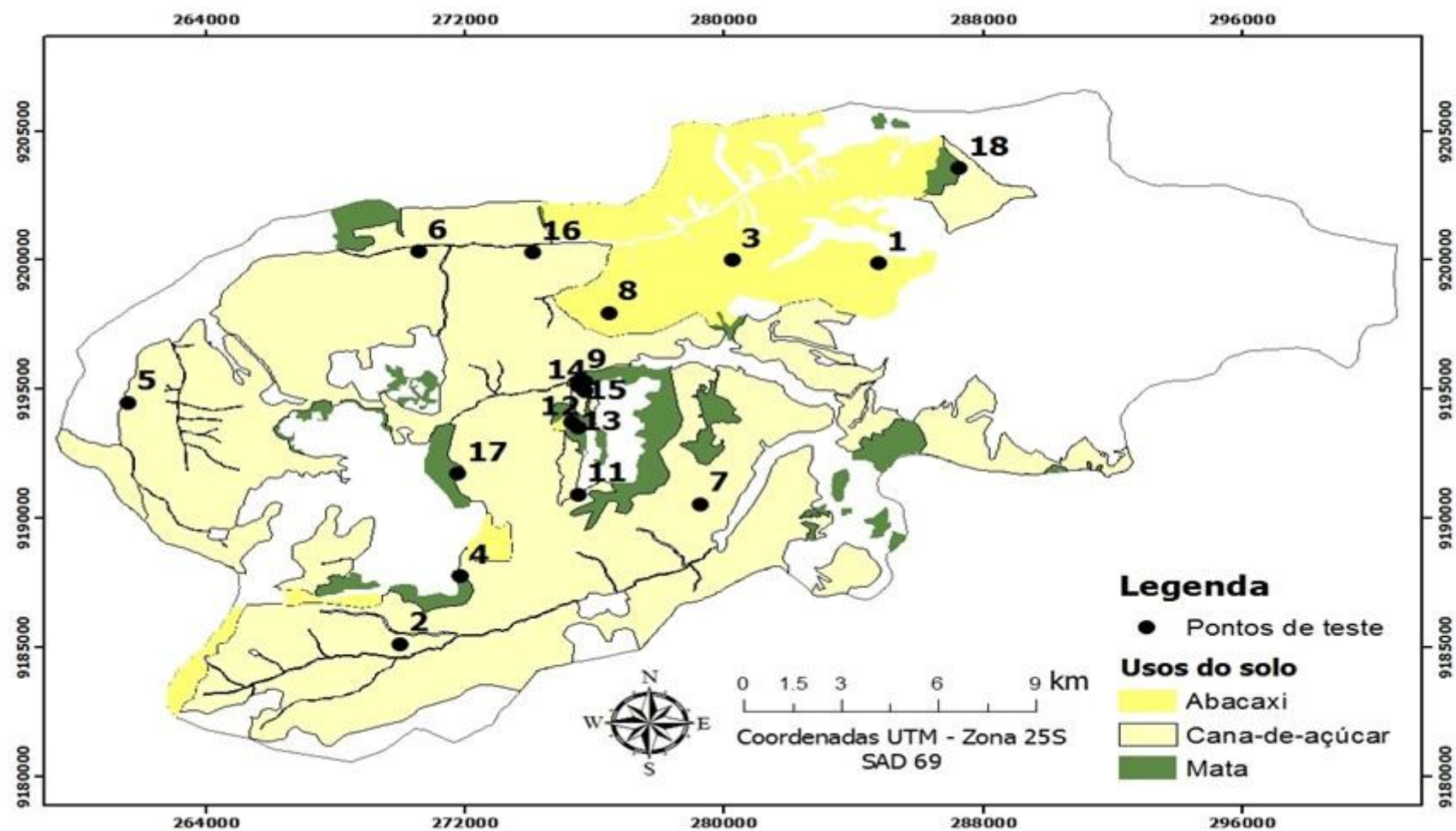


Figura 14- Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Gramame para as áreas estudadas com distribuição espacial dos 18 pontos utilizados

Do total dos pontos, foram selecionados apenas os que atingiram o regime permanente, como mostra a Tabela 2, no APÊNDICE B. Com relação ao uso do solo têm-se a cor verde que caracteriza os ensaios realizados na área de mata atlântica, amarelo para os ensaios na cultura do abacaxi e vermelho para os pontos na cultura da cana-de-açúcar. O coeficiente de determinação foi utilizado na escolha dos melhores pontos do ensaio de infiltração.

A partir dos ensaios granulométricos realizados através de peneiramento a seco, obedecendo às normas estabelecidas pela ABNT (1984), foram determinadas as frações de seixo, areia grossa e areia fina para todos os pontos utilizados (Tabela 3, no APÊNDICE B).

As curvas referentes à distribuição granulométrica dos pontos utilizados estão apresentadas na Figura 15. Observa-se que, de uma maneira geral, para todos os pontos onde as amostras foram coletadas e estudadas há uma semelhança na distribuição da granulometria. Excetua-se o ponto 10, que é a curva mais afastada das demais e que obteve uma porcentagem menor de areia, em comparação com os demais pontos.

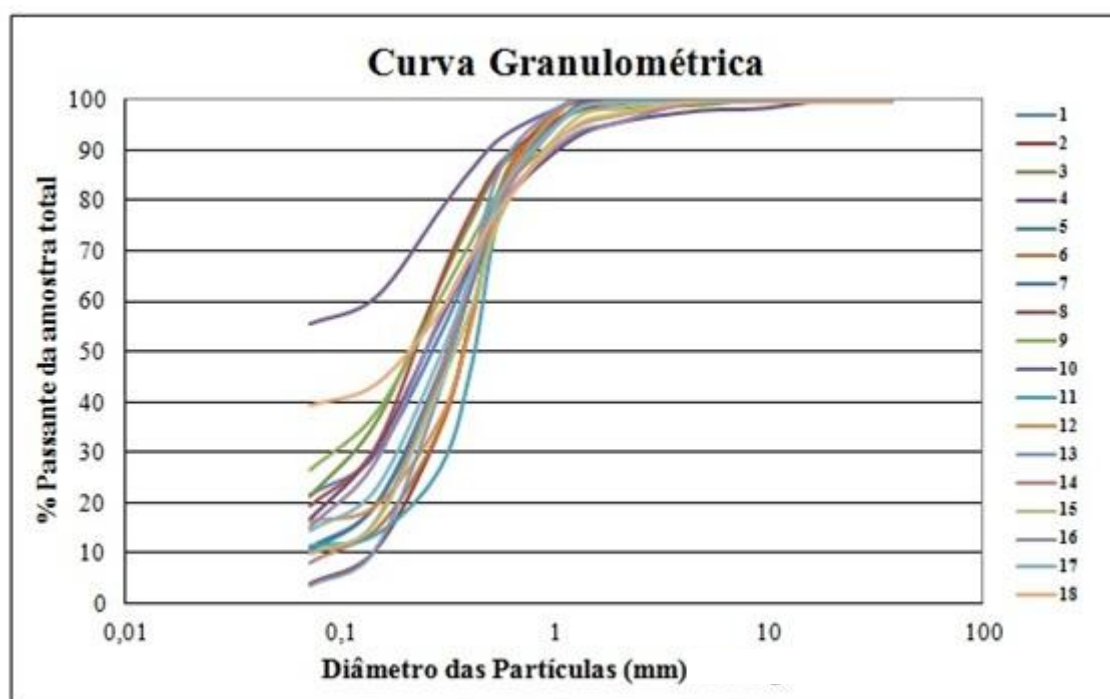


Figura 15- Curvas de distribuição granulométrica dos pontos utilizados

De acordo com a porcentagem de areia para cada ponto utilizado foi elaborado o mapa da Figura 16. Observa-se que na área central da bacia estão os pontos com as maiores porcentagem de areia. Tomando com base a tabela anterior observa-se que

alguns pontos que obtiveram as maiores concentrações de areia, estão localizados na área de mata atlântica, onde o ponto com maior concentração apresenta 96,45 % de areia em sua granulometria. Já alguns pontos que obtiveram menores porcentagens de areia em sua constituição, estão localizados tanto na área de mata atlântica quanto nas áreas cultivadas.

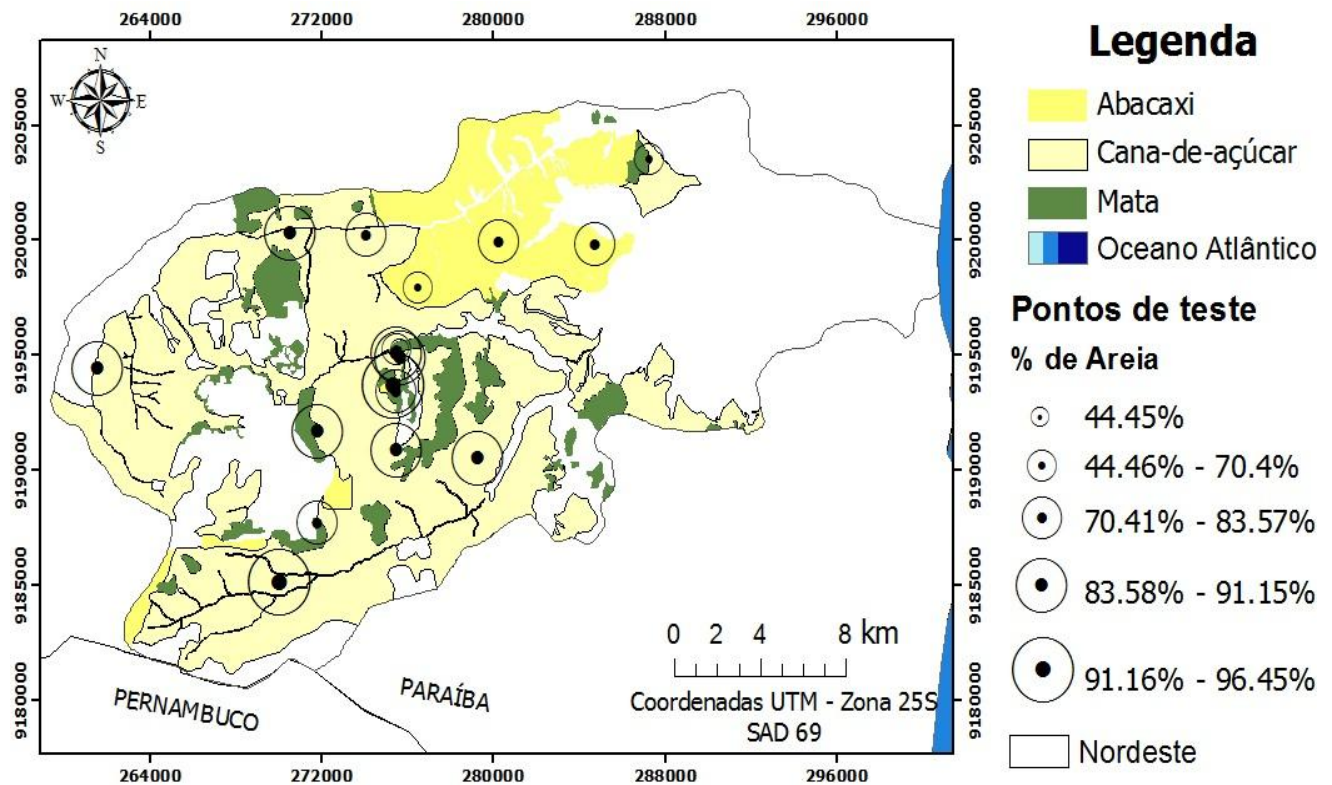


Figura 16- Mapa com a porcentagem de areia para cada ponto estudado

Nos 18 pontos que foram descartados, ao utilizar a metodologia Beerkan, percebeu-se que eles apresentaram um comportamento fora do esperado, pois nas amostras coletadas as curvas não obedeceram a um padrão específico, não ocorrendo à estabilização da lâmina infiltrada mediante repetições dos testes, ou seja, não atingiram o regime permanente. Situação contrária foi observada nos 18 pontos que foram utilizados, e que mesmo atingindo o regime permanente, apresentaram variabilidade significativa na duração das infiltrações, como mostra o APÊNDICE C.

Com relação aos pontos descartados, Lassabatère et al. (2006) explicam que sem essa estabilização da lâmina infiltrada, os valores dos parâmetros não podem ser determinados, pois o programa BEST pode superestimá-los durante a modelagem. A Figura 177 mostra a não estabilização da lâmina infiltrada de uma curva de infiltração gerada pelo BEST, onde a linha tracejada representa a condutividade hidráulica saturada

superestimada. Observa-se ainda, nesta figura, que a curva de infiltração calculada também não pôde ser gerada por não ocorrer à estabilização dos dados experimentais. A Figura 188 representa uma curva com estabilização da lâmina infiltrada.

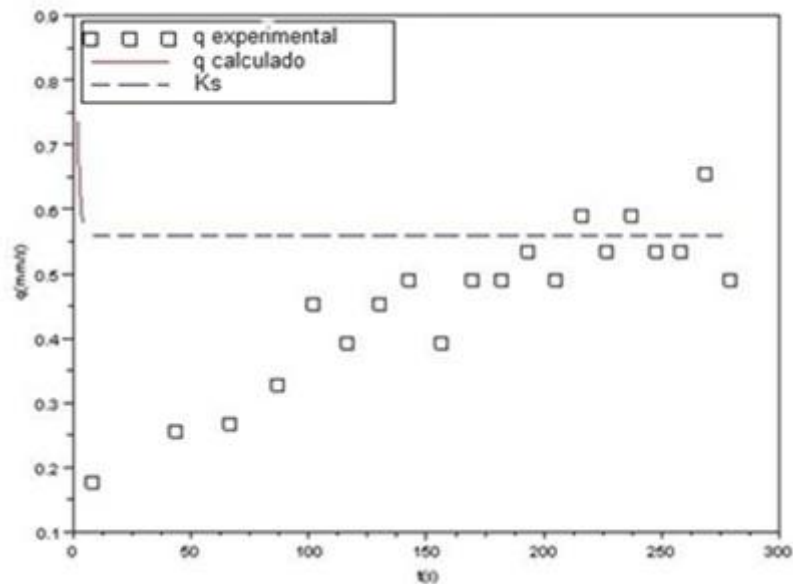


Figura 17- Curva de infiltração gerada pelo programa BEST, sem a estabilização da lâmina infiltrada em função do tempo.

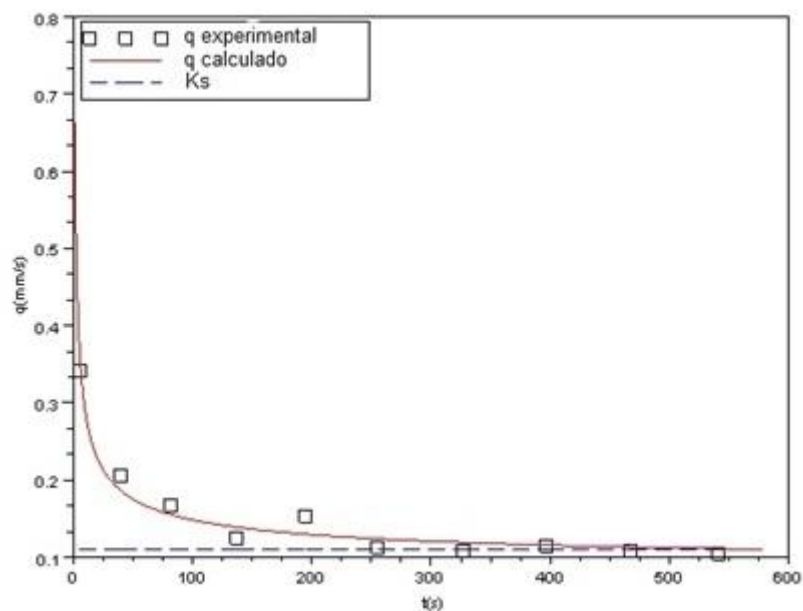


Figura 18- Curva de infiltração gerada pelo programa BEST, com estabilização da lâmina infiltrada em função do tempo.

O problema da não estabilização da curva de infiltração utilizando a metodologia Beerkan também foi encontrado por Silva (2009) e Coelho (2011), onde o primeiro

explica que essa anormalidade nos dados de infiltração de água no solo pode ser entendida como sendo um fenômeno de repelência à água em solos arenosos provocado por substâncias orgânicas hidrofóbicas e/ou anfifílicas, ocasionando uma menor infiltração de água no solo. Já Coelho (2011) explica que estas curvas também podem ter apresentado comportamentos não satisfatórios devido aos caminhos preferenciais encontrados pela água após várias repetições do teste. Ambos sugerem que os testes sejam efetuados em duplicata/triplicata na tentativa de amenizar esse tipo de problema. Porém, mesmo levando em consideração as sugestões, alguns pontos tiveram que ser descartados por não apresentarem comportamento favorável, o que sugere-se uma certa repelência por parte do solo a água.

Observa-se ainda, com relação aos 18 pontos que foram descartados (APÊNDICE D), que a terça parte desses estão inseridos na área que compreende a mata atlântica, onde pressupõem-se que tanto os possíveis caminhos preferenciais encontrados pela água, como formigueiros e espaços criados pelas raízes. Quanto a textura arenosa do solo que predomina no local, tenham contribuído para a não estabilização da lâmina de água fazendo com que os pontos não atingissem o regime permanente. Porém a não estabilização é um dado positivo, tendo em vista que em um período chuvoso a água infiltraria com uma maior facilidade nessas áreas, acarretando um menor escoamento superficial na bacia hidrográfica, pois nesses pontos não ocorreu a saturação do solo como esperado na utilização do método.

Os parâmetros de forma e normalização estão apresentados na Tabela 4, no APÊNDICE B. Os parâmetros de forma foram obtidos por meio do ajuste da curva teórica com a curva experimental, mediante a Equação 8. Estes parâmetros são dependentes da textura do solo e obtiveram valores semelhantes pelo fato do solo ser caracterizado como arenoso. Os parâmetros de normalização, referentes aos valores de θ_0 , θ_s , S , K_s e h_g , foram gerados pelo programa BEST, onde se observa que os valores de K_s apresentaram variabilidade entre os pontos estudados, porém esta variação encontra-se na faixa de valores obtidos por Coelho (2011) e Silva (2009).

Observa-se que nos dados referentes à condutividade hidráulica saturada (K_s) o ponto 13 obteve o maior resultado, ou seja, a água infiltrou com maior facilidade neste ponto. Percebe-se que este ponto também apresenta a maior porcentagem de areia e que está localizado na área de mata atlântica. Já o ponto 16 obteve a menor condutividade hidráulica, estando localizado na cultura do abacaxi.

Para um melhor entendimento a tabela anterior foi dividida de acordo com o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Gramame, com os valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros de forma e normalização, calculados mediante os valores de cada ponto, onde a Tabela 5 representa os valores relacionados aos pontos na cultura do abacaxi, a Tabela 6 aos pontos na cultura da cana-de-açúcar, e a Tabela 7 aos pontos na área de mata atlântica (APÊNDICE B).

A partir dessas tabelas criou-se o gráfico abaixo que apresenta os valores médios, mínimos e máximos da condutividade hidráulica saturada K_s (mm.s^{-1}) de acordo com os usos do solo em estudo.

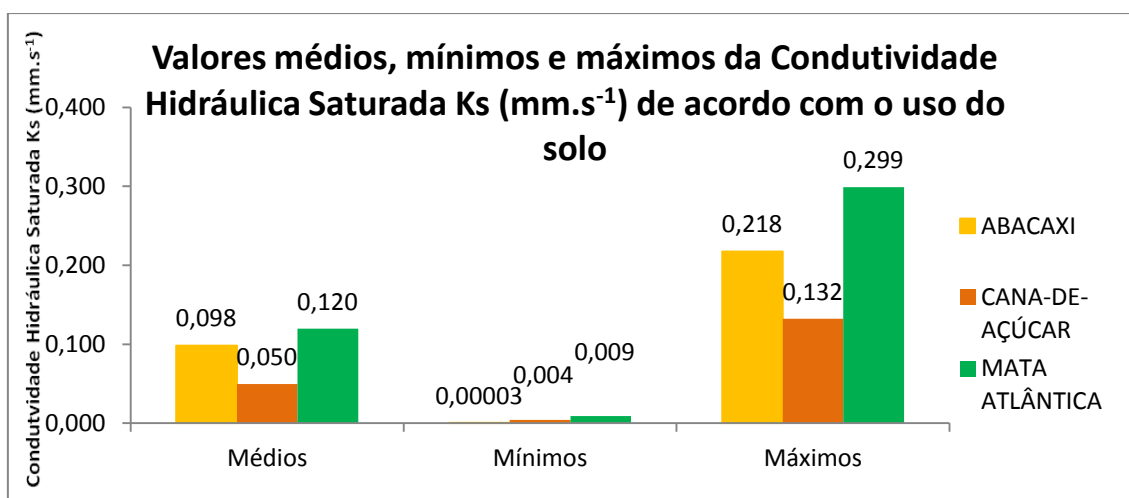


Figura 19- Gráfico com os valores médios, mínimos e máximos da condutividade hidráulica saturada de acordo com os usos do solo.

De acordo com os valores mínimos, médios e máximos encontrados para os parâmetros de forma e normalização, observa-se que os valores para condutividade hidráulica saturada continuam maiores nas áreas de mata atlântica, o que reforça o entendimento de que nas áreas de mata atlântica a água infiltra com maior facilidade.

A partir da definição dos parâmetros de forma e normalização, foram elaboradas as curvas de condutividade hidráulica (Figura 20) com os valores de umidade em relação à condutividade $k(\theta)$, e de retenção (Figura 21) com os valores de umidade em relação ao potencial matricial $\theta(h)$, para os pontos utilizados na bacia hidrográfica. As cores das curvas estão divididas de acordo com o uso do solo da bacia hidrográfica, onde o amarelo representa os ensaios realizados na área da cultura do abacaxi, o vermelho representa os ensaios na cultura da cana-de-açúcar e o verde representa os pontos na área de mata atlântica. O comportamento dessas curvas possuem características semelhantes devido à textura arenosa do solo da maioria dos pontos.

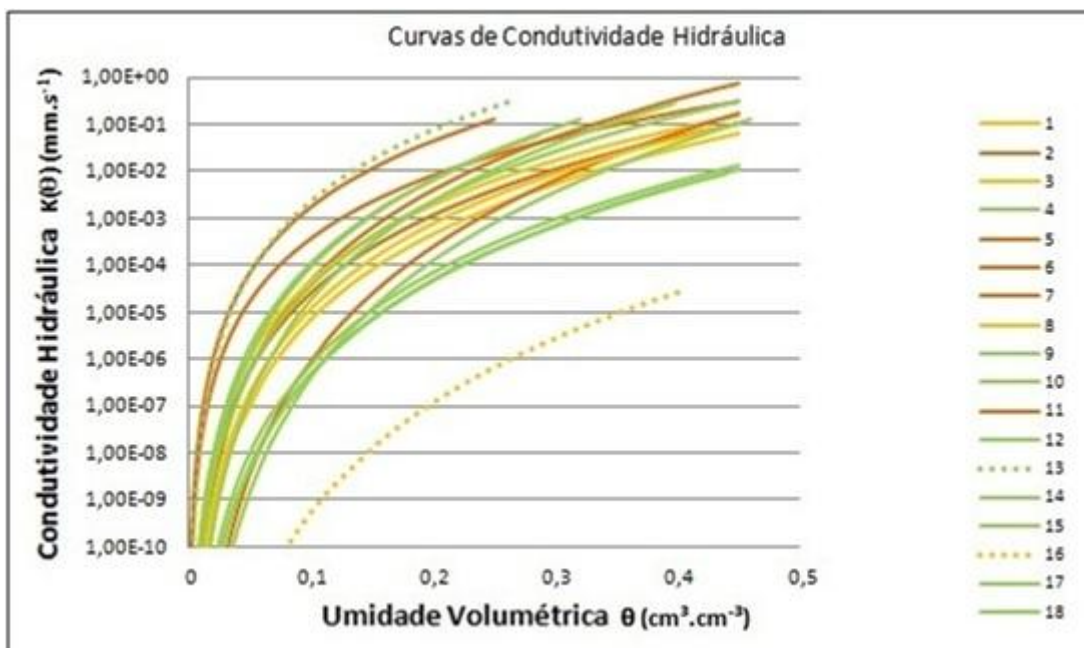


Figura 20- Comportamento da condutividade hidráulica dos pontos utilizados

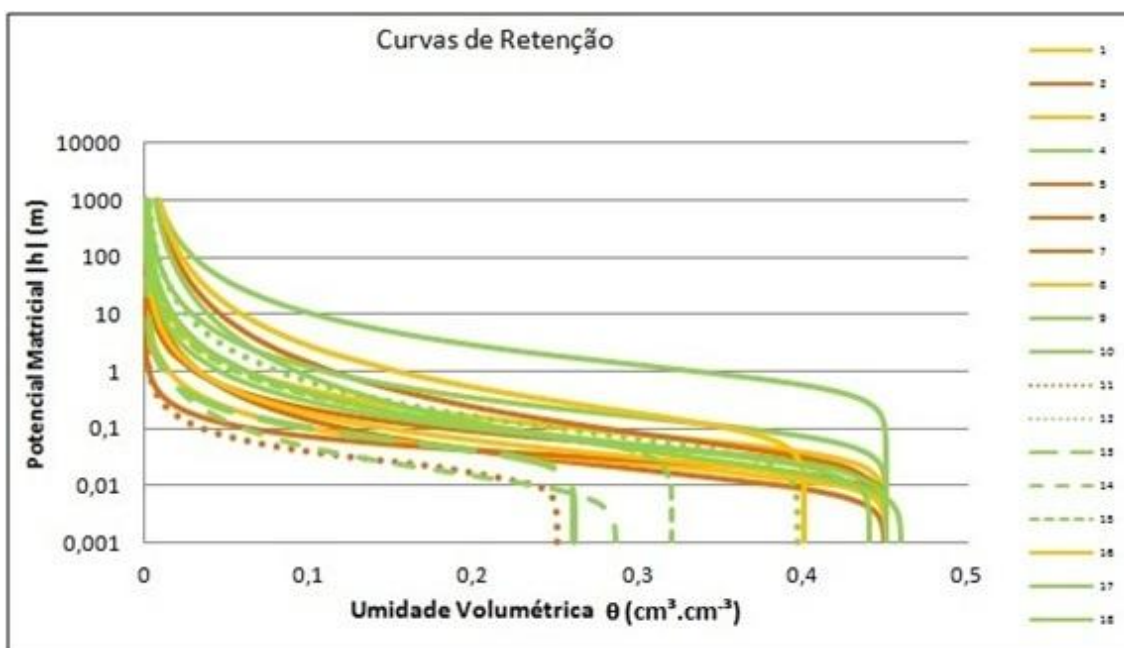


Figura 21- Comportamento da retenção de água no solo dos pontos utilizados

Nas curvas de condutividade hidráulica, observa-se que a curva com maior condutividade foi a do ponto 13, localizado na área de mata atlântica; e a que obteve a menor infiltração foi a do ponto 16 localizado na cultura do abacaxi.

As curvas de retenção apresentam comportamento contrário aos da de condutividade hidráulica, tendo em vista que são propriedades distintas, e que as áreas com maior retenção de água equivalem às áreas com menor facilidade de infiltração.

Nessas curvas, os pontos que obtiveram os menores valores foram os pontos 12, 13, 14 e 15 na área de mata atlântica e o ponto 11 na cultura da cana-de-açúcar.

Percebe-se que a área central da bacia hidrográfica apresentou as maiores respostas referente à condutividade, com destaque para os pontos 12 e 13 que obtiveram um maior nível, sendo estes pontos localizados nas áreas remanescentes de mata atlântica. Enfatiza-se ainda que o ponto 13 é o ponto com maior porcentagem de areia de todos os pontos utilizados, com 96,45% de areia, e que de acordo com as curvas de retenção este ponto obteve um dos menores valores.

Essa característica do solo com cobertura vegetal (remanescentes de mata atlântica), onde o volume de água infiltrou com maior facilidade, pode ser explicado devido ao fato do solo ser mais preservado se comparado às áreas cultivadas, devido à baixa atividade antrópica ou mesmo inexistente. Percebe-se que o tipo e o uso do solo interferem na capacidade de infiltração, tornando-a dependente destes fatores. Nesse sentido, áreas que sofrem forte compactação reduzem a capacidade de infiltração, enquanto que o uso de máquinas agrícolas para revolver superficialmente o solo durante o plantio pode diminuir a infiltração. De outro lado, essa mesma capacidade de infiltração varia com o tipo de solo e com suas condições de umidade, onde um solo argiloso pode ter uma alta capacidade de infiltração quando estiver seco, no entanto, após receber umidade pode se tornar quase que impermeável.

A constatação de que a infiltração é maior na área com vegetação natural do que em solos cultivados foi feita nos trabalhos de Alves *et al.* (2007), Borges *et al.* (1999), Catan *et al.* (2009), Centurion *et al.* (2001) e Pinheiro *et al.* (2009).

Nesse contexto, entende-se que a textura do solo também pode influenciar no tamanho dos poros, pois a densidade e a porosidade do solo são parâmetros relacionados com alterações no volume de solo; portanto, altamente relacionados com a compactação do solo. A densidade apresenta influência sobre a porosidade.

A relação da porosidade com argila e areia total ocorre devido ao arranjo das partículas do solo. A fração argila do solo possui forma laminar e, com aumento do seu teor, as partículas se encaixam reduzindo os macroporos e aumentando os microporos, formando uma massa argilosa homogênea. Por outro lado, a areia possui um formato irregular, dificultando o encaixe entre as partículas e, nos espaços onde não ocorre contato entre as partículas de areia, formam-se os macroporos, nesse caso, denominado de porosidade textural, relacionada à textura do solo.

O tipo de uso do solo também é um fator que interfere no processo de infiltração do solo, tendo em vista que na área agrícola, pecuária, bem como na florestal, o processo com que a compactação, afeta as propriedades hidráulicas é o mesmo, mediante o tipo de uso do solo, podendo diferir apenas na intensidade com que essas alterações ocorrem. Percebe-se também que o plantio promove a movimentação do solo, desestruturando-o e favorecendo o processo de infiltração de água no solo.

Presume-se com este estudo que a condutividade hidráulica e a retenção foram influenciadas, tanto pela compactação, mediante o tipo de uso do solo; quanto pela densidade e pelo sistema poroso do mesmo, onde com as práticas no solo, os poros maiores responsáveis pela aeração tendem a diminuir, sendo substituídos por poros menores. Mesmo uma parcela dos solos sob cobertura vegetal tendo apresentado resultados semelhantes aos das áreas cultivadas, a maior parte dos pontos localizados na zona que compreende as maiores condutividades são pontos na área de mata atlântica. Logo, percebe-se certa atividade impactante por parte das culturas ao solo, situação de menor representatividade nas áreas remanescentes de mata atlântica, tendo em vista que os maiores valores da condutividade hidráulica estão nessas áreas, devido à proteção exercida pela cobertura vegetal.

Tendo em vista os pontos que foram descartados por não atingirem o regime permanente, observou-se que a classe textural e o tipo de uso do solo interferiram no processo de infiltração natural do mesmo, bem como o fenômeno de repelência da água no solo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesse estudo foram determinadas a condutividade hidráulica e a retenção em solos da bacia hidrográfica do rio Gramame, mediante comparação com os solos em áreas nativas de mata atlântica, abacaxi e cana-de-açúcar, utilizando o método Beerkan. Para a aplicação desse método foi necessária a realização de ensaios de infiltração na bacia hidrográfica, sob distintos usos de solo, onde o algoritmo BEST permitiu a descrição do processo de infiltração de água no solo, para os diferentes solos analisados.

A metodologia utilizada nesta pesquisa mostrou-se satisfatória na avaliação das propriedades hidrodinâmicas dos solos estudados, bem como no processo de infiltração dos mesmos, pois, a partir da aplicação do método Beerkan para modelar a infiltração tridimensional no campo e permitir a caracterização hidrodinâmica na bacia em estudo, pôde-se observar que a granulometria e o tipo de uso do solo interferem no processo de infiltração natural do mesmo, bem como o fenômeno de repelência da água no solo.

Nos 18 pontos utilizados para descrever as propriedades hidrodinâmicas dos solos observou-se que, as áreas com cobertura vegetal apresentam capacidade de infiltração superior aos das áreas cultivadas. Esta maior capacidade de infiltração está relacionada com a classe textural do solo e com o tipo de uso do mesmo.

No gráfico das curvas de condutividade hidráulica, observou-se que a curva com maior infiltração foi a do ponto 13, localizado na área de mata atlântica; e a que obteve a menor infiltração foi a do ponto 16 localizado na cultura do abacaxi. Já no gráfico das curvas de retenção, os pontos que obtiveram os menores valores foram os pontos 12, 13, 14 e 15 na área de mata atlântica e o ponto 11 na cultura da cana-de-açúcar.

Mediante a interpolação, observou-se também que a área central da bacia hidrográfica apresentou as maiores respostas referente à condutividade, com destaque para os pontos 12 e 13 que obtiveram um maior nível, sendo estes pontos localizados nas áreas remanescentes de mata atlântica. Destacando ainda que o ponto 13 é o ponto com maior porcentagem de areia de todos os pontos utilizados, com 96,45% de areia, e que de acordo com as curvas de retenção este ponto obteve um dos menores valores.

Comparando-se as diferentes atividades exercidas nos pontos amostrais, observou-se que os maiores valores de capacidade de infiltração se localizam nas matas nativas, levando-se em consideração os valores da condutividade hidráulica saturada.

Por se tratar de uma área que compreende uma bacia hidrográfica, essa situação merece atenção especial, tendo em vista o sistema de recarga de aquíferos que tende a

ser prejudicado devido à devastação ocorrida nas áreas remanescentes de mata atlântica da bacia hidrográfica do rio Gramame em prol do aumento das áreas cultivadas e/ou urbanizadas.

Tais resultados permitem que sejam feitas algumas sugestões para trabalhos futuros e para um melhor gerenciamento do uso do solo da bacia hidrográfica estudada como:

- a) A distribuição de novos pontos em uma malha que possa compreender a bacia hidrográfica em sua totalidade, visando uma espacialização maior dos dados onde esses possam ser comparados com bacias de diferentes portes;
- b) Estudo mais aprofundado sobre o fenômeno de repelência da água no solo, para melhor explicar a sua influência no processo de infiltração natural do solo;
- c) Utilização de técnicas de manejo de culturas que visem minimizar os impactos ao solo, com práticas menos agressivas às suas propriedades físicas, bem como químicas e biológicas;
- d) A preservação permanente das áreas que correspondem aos remanescentes de mata atlântica da bacia tendo em vista o seu papel na contribuição na recarga de aquíferos.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *Solo: Análise granulométrica*. NBR 7181: método de ensaio. Rio de Janeiro.
- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. (2004). *Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº28, p.519-531.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. (2007). *Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº31, p.617-625.
- BAGARELLO, V. & IOVINO, M. (2012). *Testing the BEST procedure to estimate the soil water retention curve*. Geoderma 187–188, p. 67–76.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. (2001). *Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo*. Scientia Agrícola, v.58, nº3, p.555-560.
- BIASSUSI, M. (2001). *Simulação do movimento da água no solo utilizando modelo numérico*. Tese (Doutorado). 84f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. (1999). *Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após cultivo com fruteiras perenes e mandioca*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº 23, p. 1019-1025.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. (2002). *Introdução a Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2ª edição. Prentice Hall.
- BRAUD, I.; DE CONDAPPA, D.; SORIA, J. M.; HAVERKAMP, R.; ANGULO-JARAMILLO, R.; GALLE, S.; VAUCLIN, M. (2005). *Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties (the Beerkan method)*. European Journal of Soil Science, 56, p.361–374.
- BROOKS, R. H.; COREY, A. T. (1964). *Hydraulic properties of porous media*. Hydrology Paper, n.3, Colorado State University, Fort Collins. 24 p.
- BURDINE, N. T. (1953). *Relative permeability calculations from pore-size distribution data*. American Institute Mining and Metallurgy engineering, v.198, p.71-77.
- CATTAN, P.; RUY, S. M.; CABIDOCHÉ, Y. M.; FINDELING, A.; DESBOIS, P.; CHARLIER J. B. (2009). *Effect on runoff of rainfall redistribution by the impluvium-shaped canopy of banana cultivated on an Andosol with a high infiltration rate*. Journal of Hydrology 368, p. 251–261.

- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; NETO, A. R.; SILVA, L. A. (1999). *Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo*. Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n°. 8, p. 1467-1473.
- CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. (2001). *Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.2, p.254-258.
- COELHO, V. H. R. (2011). *Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero livre da bacia do rio Gramame – PB*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. Centro de Tecnologia. UFPB.
- COELHO, V. H. R.; ARAÚJO, U. T. M.; MELO, D. C. D.; SILVEIRA, J. A.; ALMEIDA, C. N.; SILANS, A. M. P. (2010). *Aplicação do método beerkan na determinação das propriedades hidrodinâmicas de solos da bacia do rio Gramame – PB*. In: Anais do X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Brasília, pp.1-18.
- DE CONDAPPA, D.; SORIA, J. M.; ANGULO-JARAMILLO, R.; HAVERKAMP, R. (2002). *Méthode Beerkan. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols non saturés*. Rapport interne Hydrologie de la Zone Non Saturés – LTHE, Grenoble: Université de Grenoble, p.82.
- FONSECA, F. (2008). *Efeitos do turismo na demanda d'água da bacia do rio Gramame – Estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p.143.
- FUENTES, C.; VAUCLIN, M.; PARLANGE, J. Y.; HAVERKAMP, R. (1998). *Soil water conductivity of a fractal soil*. Fractals in Soil Science. v.142, p. 325-335.
- FUENTES, C. (1992). *Approche fractale des transferts hydriques dans les sols non-saturés*. Tese Doutorado, Université Joseph Fourier, Grenoble, p.444.
- GONZALEZ-SOSA, E.; BRAUD, I.; DEHOTIN, J.; LASSABATÉRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; LAGOUY, M.; BRANGER, F.; JACQUEMINET, C.; KERMADI, S.; MICHEL, K. (2010). *Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment*. Hydrological Processes, n° 24, p. 2382–2399
- HAVERKAMP, R.; BOURAOUI, F.; ANGULO-JARAMILLO, R.; ZAMMIT, C.; DELLEUR, J.W. (1999). *Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone*. In: CRC Groundwater Engineering Handbook. Org. por Deuller, J.W., 120p.
- HAVERKAMP, R.; ROSS, P. J.; SMETTEM, K. R. J.; PARLANGE, J. Y. (1994). *Threedimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer*. 2. Physically based infiltration equation. Water Resources Research, Washington, v.30, p. 2931-2935.

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

HORTON, R. E. (1933). *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. EOS Transactions, America Geophysical Union, p. 446-460.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. (2007). *Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº31, p.1131-1140.

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

LASSABATERE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; GOUTALAND, D.; LETELLIER, L.; GAUDET, J. P.; WINIARSKI, T.; DELOLME, C. (2010). *Effect of the settlement of sediments on water infiltration in two urban infiltration basins*. Geoderma, nº 156, p. 316-325.

MUBARAK, I.; MAILHOL, J. C.; ANGULO-JARAMILLO, R.; RUELLE, P.; VALCLIN, M.; KHALEDIAN, M. (2010). *Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: Is infiltration method dependent?*. Agricultural Water Management, nº97, p. 1517-1526.

MUBARAK, I.; MAILHOL, J. C.; ANGULO-JARAMILLO, R.; RUELLE, P.; BOIVIN, P.; KHALEDIAN, M. (2009). *Temporal variability in soil hydraulic properties under drip irrigation*. Geoderma, nº 150, p. 158-165.

MUBARAK, I.; MAILHOL, J. C.; ANGULO-JARAMILLO, R.; BOUARFA, S.; RUELLE, P. (2009). *Effect of temporal variability in soil hydraulic properties on simulated water transfer under high-frequency drip irrigation*. Agricultural Water Management, nº96, p.1547-1559.

PDRH, (2000). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*. SEMARH/SCIENTEC.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. (2009). *Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola*. Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 4, n. 2, p. 188-199.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. (2003). *Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, nº27, p.19-27.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. (1999). *Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, nº11, p.2091-2095.

SANTOS, R. B. (2004). *Aplicação do método multicriterial Promethee para a aplicação da disponibilidade hídrica superficial na Bacia do Rio Gramame*. Dissertação de Mestrado. Campina Grande/PB.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B. C.; SILVA, R. M. (2012). *Caracterização Hidrodinâmica dos Solos da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra utilizando o Método Beerkan*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 17, nº4, p. 149-160.

SILVA, J. F. C. B. C. (2009). *Análise espacial das características hidrodinâmicas e do uso e ocupação do solo da bacia experimental do riacho Guaraíra mediante o uso de geotecnologias*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p.85.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. (2007). *Uso da vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, nº1, p.108-114.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. (2012). *Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, nº1, p.27-36.

SINGH, U. K.; REN, L.; KANG, S. (2010). *Simulation of soil water in space and time using an agro-hydrological model and remote sensing techniques*. Agricultural Water Management, 97, p. 1210-1220.

SORIA, J.M.; LEIJ, F.J.; ANGULO-JARAMILLO, R.; FUENTES, C.; HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J.-Y. (2003). *Aggregation scenarios to model water fluxes in watersheds with spatial changes in soil texture*. In: 23rd. Hydrology Days AGU, Colorado State University.

SOUZA, E. S; ANTONINO, A. C. D; ANGULO-JARAMILLO, R; NETTO, A. M. (2008a). *Caracterização hidrodinâmica de solos: aplicação do método Beerkan*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, p. 128-135.

SOUZA, E. S; ANTONINO, A. C. D; ANGULO-JARAMILLO, R; NETTO, A. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, E. B. (2008b). *Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no Estado da Paraíba*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, nº32, p. 1795-1804.

SOUZA, S. F. L. (2011). *Caracterização hidrodinâmica da bacia do rio Tambaí na Paraíba através do método Beerkan*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p.40.

SUZUKI, L. E. A. S. (2008). *Qualidade físico-hídrica de um argissolo sob floresta e pastagem no sul do Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, RS, p.138.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (2002). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos. São Paulo.

TIAN, Y. Q.; MCDOWELL, R.; YU, Q.; SHEATH, G. W.; CARLSON, W. T.; GONG, P. (2007). *Modelling to analyse the impacts of animal treading effects on soil infiltration*. Hydrological Processes, 21, p. 1106–1114

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. (1997). *Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2 n.1, p. 135-152.

TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Editora da UFRGS e ABRH.

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

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, p. 69.

XU, X.; LEWIS, C.; LIU, W.; ALBERTSON, J. D.; KIELY, G. (2012). *Analysis of single-ring infiltrometer data for soil hydraulic properties estimation: Comparison of BEST and Wu methods*. Agricultural Water Management, 107, p. 34– 41.

XU, X.; LEWIS, C.; KIELY, G. (2009). *Estimation and analysis of soil hydraulic properties through infiltration experiments: comparison of BEST and DL fitting methods*. British Society of Soil Science, Soil Use and Management, 25, p. 354-361.

ZATARÁIN, F.; FUENTES, C.; HAVERKAMP, R.; ANTONIO, A. C. D. (2003). *Predicción de la forma de la característica de humedad del suelo a partir de la curva granulométrica*. In: Congresso nacional de Irrigação. Zacatecas. Resumos – Zacatecas: ANEI. Desarrollo y transferencia de tecnología de Riego y drenaje, v. 02, p. 212-219.

APÊNDICE A

PLANILHAS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO ESPECÍFICAS PARA O MÉTODO BEERKAN

Ensaio de Infiltração (Método Beerkan)

Data:	Coordenadas (UTM)	
Local:	Latitude:	
Sítio:	Longitude:	

Volume (mL): _____

	Tempo		Tempo	Anotações
1		16		
2		17		
3		18		
4		19		
5		20		
6		21		
7		22		
8		23		
9		24		
10		25		
11		26		
12		27		
13		28		
14		29		
15		30		

	Ident. da lata	PSU	PSS	P. Lata
Densidade				
Umidade inicial				
Umidade Final				

Figura 22- Planilha de campo específica para o método Beerkan

BG_		Sedimentação		BG_		Sedimentação	
Solo Total		Retido N°4		Solo Total		Retido N°4	
Cápsula		Retido nN°10		Cápsula		Retido nN°10	
Tara Cápsula				Tara Cápsula			
Cápsula + Solo				Cápsula + Solo			
Cáp. + Solo Seco				Cáp. + Solo Seco			

BG_		Sedimentação		BG_		Sedimentação	
Solo Total		Retido N°4		Solo Total		Retido N°4	
Cápsula		Retido nN°10		Cápsula		Retido nN°10	
Tara Cápsula				Tara Cápsula			
Cápsula + Solo				Cápsula + Solo			
Cáp. + Solo Seco				Cáp. + Solo Seco			

BG_		Sedimentação		BG_		Sedimentação	
Solo Total		Retido N°4		Solo Total		Retido N°4	
Cápsula		Retido nN°10		Cápsula		Retido nN°10	
Tara Cápsula				Tara Cápsula			
Cápsula + Solo				Cápsula + Solo			
Cáp. + Solo Seco				Cáp. + Solo Seco			

BG_		Sedimentação		BG_		Sedimentação	
Solo Total		Retido N°4		Solo Total		Retido N°4	
Cápsula		Retido nN°10		Cápsula		Retido nN°10	
Tara Cápsula				Tara Cápsula			
Cápsula + Solo				Cápsula + Solo			
Cáp. + Solo Seco				Cáp. + Solo Seco			

Figura 23- Planilha de laboratório específica para o método Beerkan

APÊNDICE B

**TABELAS COM OS DADOS REFERENTES AOS PONTOS UTILIZADOS E
DESCARTADOS**

Tabela 1- Dados sobre os pontos descartados por apresentarem problema na estabilização da lâmina infiltrada.

Pontos excluídos	ID	Ensaio	Número de repetições	Tempo total (s)	Uso do solo	Execução	Data	Infiltração
1	3	A	10	58	CANA	Coelho (2011)	set/09	Não atingiram o regime permanente
		B	10	103				
2	5	A	10	328	CANA			
		B	21	359				
3	8	A	19	143	CANA			
		B	19	145				
4	10	A	19	85	CANA			
		B	19	265				
5	15	A	19	968	CANA			
		B	19	937				
6	19	A	20	270	CANA			
		B	20	206				
7	21	A	20	877	ABACAXI			
		B	20	2591				
8	25	A	20	285	CANA			
		B	20	211				
9	0_17	A	20	2766	CANA	Silva (2009)	out/07	
10	0_34	A	15	470	CANA		set/08	
11	0_105	A	15	655	CANA			
12	1E	A	29	516	MATA	Erika (2012)	fev/12	
		B	34	1358				
		C	29	685				
13	2E	A	29	515	MATA			
		B	22	923				
		C	20	756				
14	4E	A	17	1113	ABACAXI			
		B	25	1156				
		C	14	985				
15	7E	A	28	1194	MATA			
		B	20	1624				
		C	31	468				
16	8E	A	31	969	MATA			
		B	16	847				
		C	11	1338				
17	11E	A	38	743	MATA			
		B	19	698				
		C	18	289				
18	12E	A	24	875	MATA			
		B	22	1114				
		C	18	329				

Tabela 2- Pontos utilizados, com a identificação original do ponto, suas coordenadas, execução, data de realização e dados referentes ao uso do solo e infiltração.

Ponto	ID	Coordenadas		Execução	Data	Ensaio selecionado	R²	Uso do solo
		X (m E)	Y (m S)					
1	7A	284764	9199862	COELHO (2011)	set-09		0,491	ABACAXI
	7B					X	0,911	
2	12A	270017	9185119		set-09	X	0,953	CANA
	12B						0,801	
3	16A	280267	9199984		out-09		0,93	ABACAXI
	16B					X	0,93	
4	18A	271859	9187734		out-09	X	0,766	MATA
	18B						0,575	
5	20A	261608	9194476		mar-10		0,961	CANA
	20B					X	0,953	
6	21A	270574	9200327		mar-10	X	0,906	CANA
	21B						0,817	
7	23A	279264	9190540		mar-10		0,395	CANA
	23B					X	0,743	
8	26A	276472	9197943		mar-10		0,358	ABACAXI
	26B					X	0,235	
9	27A	275499	9195300		mar-10		0,332	MATA
	27B					X	0,375	
10	28A	275705	9195301		mar-10		0,799	MATA
	28B					X	0,749	
11	BG_006	275500	9190900	SILVA (2009)	out-07	X	0,912	CANA
12	BG_126	275511	9193494		set-08	X	0,268	MATA
13	BG_135	275301	9193700		set-08	X	0,554	MATA
14	BG_188	275700	9194901		abr-08	X	0,228	MATA
15	BG_196	275700	9195100		abr-08	X	0,878	MATA
16	3AE	274086	9200280	ERIKA (2012)	out-12	X	0,911	ABACAXI
	3BE						0,852	
	3CE						0,963	
17	9AE	271809	9191710		out-12		0,804	MATA
	9BE						0,831	
	9CE					X	0,221	
18	10AE	287263	9203545		out-12	X	0,853	MATA
	10BE						0,897	
	10CE						0,709	

Tabela 3- Frações de seixo, areia grossa, areia fina, silte e argila para todos os pontos utilizados.

Ponto	ID	Uso do solo	Seixo (%)	Areia Grossa (%)	Areia fina (%)	Silte e Argila (%)*	Areia (%)
1	7B	ABACAXI	0,41	31,75	46,25	21,59	78
2	12A	CANA	0,05	42,61	53,24	4,11	95,85
3	16B	ABACAXI	1,84	21,83	55,01	21,32	76,84
4	18A	MATA	4,60	27,06	51,58	16,76	78,64
5	20B	CANA	0,00	34,01	54,81	11,18	88,82
6	21A	CANA	0,00	42,92	47,14	9,94	90,06
7	23B	CANA	0,42	36,39	52,92	10,28	89,30
11	BG_006	CANA	0,00	52,33	36,26	11,41	88,59
12	BG_126	MATA	0,02	43,73	39,83	16,41	83,57
13	BG_135	MATA	0,00	33,50	62,95	3,55	96,45
14	BG_188	MATA	0,77	34,71	56,44	8,07	91,15
15	BG_196	MATA	1,66	39,25	49,12	9,96	88,37
16	3AE	ABACAXI	4,55	26,17	54,12	15,16	80,29
17	9CE	MATA	0,39	33,87	51,23	14,52	85,1
8	26B	ABACAXI	0,68	21,20	46,87	31,25	68,07
9	27B	MATA	2,95	24,81	45,60	26,65	70,4
18	10AE	MATA	2,63	28,10	30,04	39,24	58,14
10	28B	MATA	0,22	13,62	30,82	55,33	44,45

*Não foi realizado análise de sedimentação para silte e argila. O percentual restante foi atribuído a esta fração.

Tabela 4- Parâmetros de forma e normalização das funções de $\theta(h)$ e $K(\theta)$, bem como uso do solo e porcentagem de areia dos pontos utilizados.

Ponto	ID	Parâmetros de Forma			Umidade volumétrica	Parâmetros de Normalização			Sorvidade S (mm.s ^{-1/2})	Uso do solo	% de Areia
		n	m	η	θ_0 (cm.cm ⁻³)	θ_s (cm.cm ⁻³)	Ks (mm.s ⁻¹)	hg (mm)			
1	7B	2,520	0,206	6,849	0,0645	0,340	0,218	-16,483	1,368	ABACAXI	78,00
2	12A	2,322	0,139	9,219	0,0988	0,389	0,026	-179,693	1,675	CANA	95,85
3	16B	2,730	0,267	5,742	0,1007	0,339	0,050	-80,889	1,307	ABACAXI	76,84
4	18B	2,457	0,186	7,375	0,0137	0,412	0,024	-90,418	1,307	MATA	78,64
5	20B	2,357	0,151	8,602	0,1352	0,483	0,004	-359,010	1,016	CANA	88,82
6	21A	2,624	0,238	6,203	0,1034	0,373	0,008	-196,160	0,877	CANA	90,06
7	23B	2,654	0,246	6,057	0,0513	0,504	0,079	-28,836	1,366	CANA	89,30
8	26B	2,646	0,244	6,097	0,0066	0,417	0,126	-28,085	1,622	ABACAXI	68,07
9	27B	2,557	0,218	6,592	0,0072	0,144	0,106	-48,812	1,149	MATA	70,40
10	28B	2,322	0,139	9,215	0,0227	0,453	0,033	-77,391	1,527	MATA	44,45
11	BG_006	3,160	0,367	4,724	0,2159	0,251	0,132	-17,727	0,262	CANA	88,59
12	BG_126	2,500	0,200	6,997	0,2719	0,397	0,283	-40,672	1,596	MATA	83,57
13	BG_135	2,958	0,324	5,087	0,0019	0,261	0,299	-36,919	2,202	MATA	96,45
14	BG_188	2,663	0,249	6,019	0,0729	0,287	0,060	-9,708	0,472	MATA	91,15
15	BG_196	2,620	0,237	6,224	0,0220	0,320	0,130	-59,538	2,052	MATA	88,37
16	3AE	2,415	0,172	7,820	0,0319	0,40	0,00003	-99,896	1,387	ABACAXI	80,29
17	9CE	2,374	0,157	8,354	0,0335	0,46	0,133	-13,977	1,275	MATA	85,10
18	10AE	2,541	0,213	6,695	0,0771	0,44	0,009	-27,342	0,410	MATA	58,14
Mínimo		2,322	0,139	4,724	0,002	0,144	0,000	-359,010	Mínimo		44,450
Média		2,579	0,220	6,882	0,074	0,370	0,095	-78,420	Média		80,672
Maximo		3,160	0,367	9,219	0,272	0,504	0,299	-9,708	Maximo		96,450
Desv. Padrão		0,217	0,061	1,315	0,074	0,092	0,093	88,063	Desv. Padrão		13,456
Coef. De variação		6,874	16,632	14,265	27,120	18,325	31,052	-907,097	Coef. De variação		13,951

Tabela 5- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na cultura do abacaxi.

Ponto	ID	Parâmetros de Forma			Umidade volumétrica	Parâmetros de Normalização			Sorvidade	Granulometria	
		n	m	η	θ_0 (cm.cm ⁻³)	θ_s (cm.cm ⁻³)	Ks (mm.s ⁻¹)	hg (mm)	S (mm.s ^{-1/2})	Uso do solo	% de Areia
1	7B	2,520	0,206	6,849	0,065	0,340	0,218	-16,483	1,368	ABACAXI	78,00
3	16B	2,730	0,267	5,742	0,101	0,339	0,050	-80,889	1,307		76,84
8	26B	2,646	0,244	6,097	0,007	0,417	0,126	-28,085	1,622		68,07
16	3AE	2,415	0,172	7,820	0,032	0,400	0,00003	-99,896	1,387		80,29
Média		2,577	0,222	6,627	0,051	0,374	0,098	-56,338	1,421		75,80
Mínimo		2,415	0,172	5,742	0,007	0,339	0,00003	-99,896	1,307		68,07
Máximo		2,730	0,267	7,820	0,101	0,417	0,218	-16,483	1,622		80,29

Tabela 6- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na cultura da cana-de-açúcar.

Ponto	ID	Parâmetros de Forma			Umidade volumétrica	Parâmetros de Normalização			Sorvidade	Granulometria	
		n	m	η	θ_0 (cm.cm ⁻³)	θ_s (cm.cm ⁻³)	Ks (mm.s ⁻¹)	hg (mm)	S (mm.s ^{-1/2})	Uso do solo	% de Areia
2	12A	2,322	0,139	9,219	0,099	0,389	0,026	-179,693	1,675	CANA-DE-AÇÚCAR	95,85
5	20B	2,357	0,151	8,602	0,135	0,483	0,004	-359,010	1,016		88,82
6	21A	2,624	0,238	6,203	0,103	0,373	0,008	-196,160	0,877		90,06
7	23B	2,654	0,246	6,057	0,051	0,504	0,079	-28,836	1,366		89,30
11	BG_006	3,160	0,367	4,724	0,216	0,251	0,132	-17,727	0,262		88,59
Média		2,623	0,228	6,961	0,121	0,400	0,050	-156,285	1,039		90,52

Mínimo	2,322	0,139	4,724	0,051	0,251	0,004	-359,010	0,262		88,59
Máximo	3,160	0,367	9,219	0,216	0,504	0,132	-17,727	1,675		95,85

Tabela 7- Parâmetros com os valores médios, mínimos e máximos de forma e normalização, dos ensaios realizados na mata atlântica.

Ponto	ID	Parâmetros de Forma			Umidade volumétrica	Parâmetros de Normalização				Sorvidade	Granulometria	
		n	m	η	θ ₀ (cm.cm ⁻³)	θ _S (cm.cm ⁻³)	Ks (mm.s ⁻¹)	hg (mm)	S (mm.s ^{-1/2})	Uso do solo	% de Areia	
4	18A	2,457	0,186	7,375	0,014	0,412	0,024	-90,418	1,307	MATA ATLÂNTICA	78,64	
9	27B	2,557	0,218	6,592	0,007	0,144	0,106	-48,812	1,149		70,40	
10	28B	2,322	0,139	9,215	0,023	0,453	0,033	-77,391	1,527		44,45	
12	BG_126	2,500	0,200	6,997	0,272	0,397	0,283	-40,672	1,596		83,57	
13	BG_135	2,958	0,324	5,087	0,002	0,261	0,299	-36,919	2,202		96,45	
14	BG_188	2,663	0,249	6,019	0,073	0,287	0,060	-9,708	0,472		91,15	
15	BG_196	2,620	0,237	6,224	0,022	0,320	0,130	-59,538	2,052		88,37	
17	9CE	2,374	0,157	8,354	0,034	0,460	0,133	-13,977	1,275		85,10	
18	10AE	2,541	0,213	6,695	0,077	0,440	0,009	-27,342	0,410		58,14	
Média		2,555	0,214	6,951	0,058	0,353	0,120	-44,975	1,332		77,36	
Mínimo		2,322	0,139	5,087	0,002	0,144	0,009	-90,418	0,410		44,45	
Máximo		2,958	0,324	9,215	0,272	0,460	0,299	-9,708	2,202		96,45	

m, n e η – Parâmetros de forma hidráulica; **θ_0** – Umidade volumétrica inicial; **θ_s , Ks e hg** – Parâmetros de normalização hidráulica: **θ_s** – Umidade volumétrica final; **Ks** – Condutividade hidráulica saturada; **hg** – Parâmetro de escala da estimativa da pressão de água; **S** – Sorvidade.

APÊNDICE C

DADOS DE INFILTRAÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS COM ESTABILIZAÇÃO DA LÂMINA INFILTRADA

Tabela 8- Dados de infiltração do ponto 1

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
7B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	26	26	7,859503	0,302289
2	0	1	15	75	15,71901	0,160398
3	0	2	11	131	23,57851	0,140348
4	0	3	20	200	31,43801	0,113906
5	0	4	31	271	39,29752	0,110697
6	0	5	40	340	47,15702	0,113906
7	0	6	53	413	55,01652	0,107664
8	0	8	6	486	62,87603	0,107664
9	0	9	24	564	70,73553	0,100763
10	0	10	46	646	78,59503	0,095848

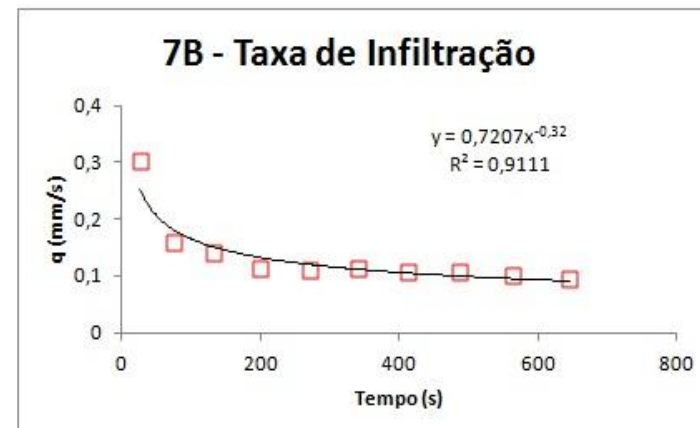


Figura 24- Taxa de infiltração do ponto 1

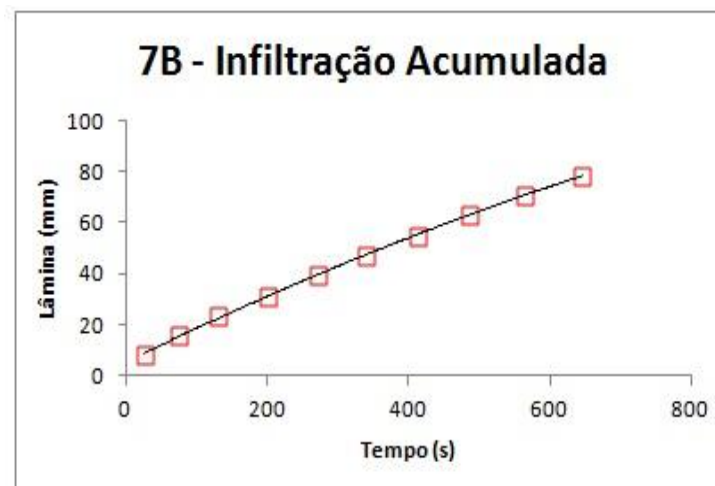


Figura 25- Infiltração acumulada do ponto 1

Tabela 9- Dados de infiltração do ponto 2

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
12A	9	150	254,469005	5,894627522		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	7	7	0	0,84209
2	0	0	24	24	11,78926	0,346743
3	0	0	45	45	17,68388	0,280697
4	0	1	14	74	23,57851	0,203263
5	0	1	38	98	29,47314	0,245609
6	0	2	11	131	35,36777	0,178625
7	0	2	44	164	41,26239	0,178625
8	0	3	28	208	47,15702	0,133969
9	0	4	10	250	53,05165	0,140348
10	0	4	54	294	58,94628	0,133969
11	0	5	39	339	64,84090	0,130992
12	0	6	30	390	70,73553	0,115581
13	0	7	16	436	76,63016	0,128144
14	0	8	5	485	82,52479	0,120299
15	0	9	3	543	88,41941	0,101632
16	0	9	55	595	94,31404	0,113358
17	0	10	53	653	100,2087	0,101632
18	0	11	46	706	106,1033	0,111219
19	0	12	42	762	111,9979	0,105261

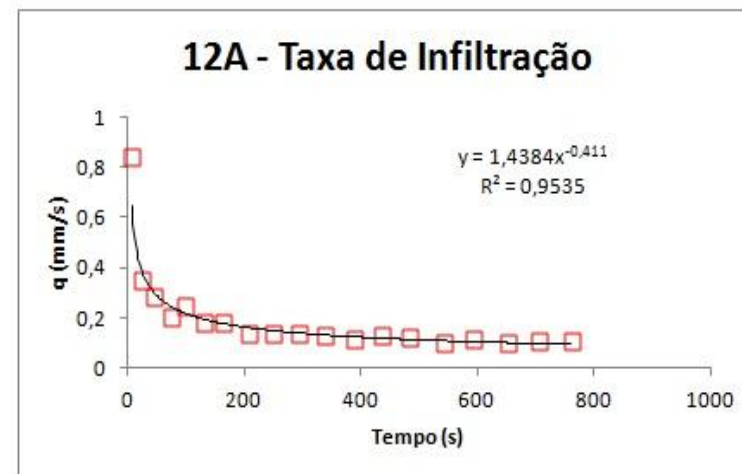


Figura 26- Taxa de infiltração do ponto 2

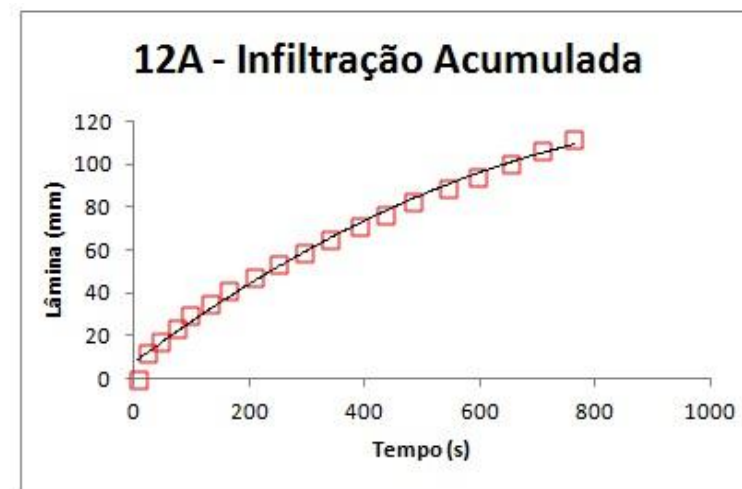


Figura 27- Infiltração acumulada do ponto 2

Tabela 10- Dados de infiltração do ponto 3

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
16B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	23	23	7,859503	0,341718
2	0	1	1	61	15,71901	0,206829
3	0	1	48	108	23,57851	0,167223
4	0	2	51	171	31,43801	0,124754
5	0	3	42	222	39,29752	0,118516
6	0	4	52	292	47,15702	0,112279
7	0	6	4	364	55,01652	0,109160
8	0	7	12	432	62,87603	0,115581
9	0	8	24	504	70,73553	0,109160
10	0	9	39	579	78,59503	0,104793

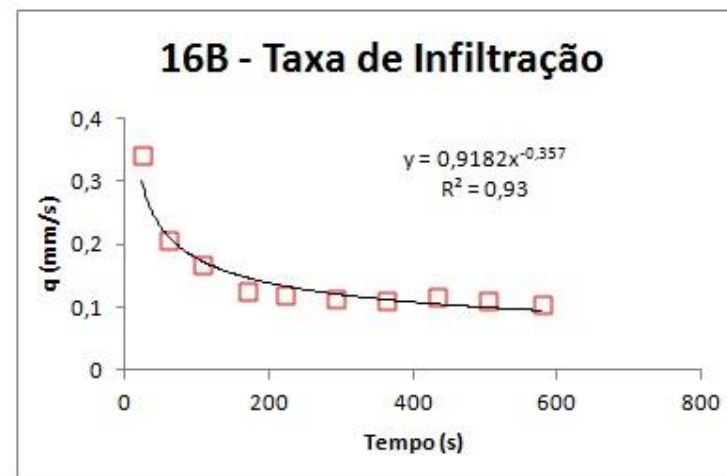


Figura 28- Taxa de infiltração do ponto 3

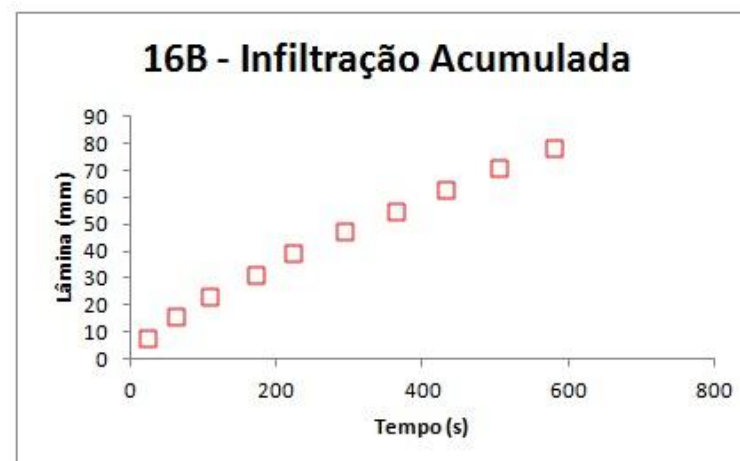


Figura 29- Infiltração acumulada do ponto 3

Tabela 11- Dados de infiltração do ponto 4

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
18A	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	16	16	0	0,491219
2	0	1	17	77	15,71901	0,128844
3	0	2	53	173	23,57851	0,081870
4	0	4	25	265	31,43801	0,085429
5	0	6	16	376	39,29752	0,070806
6	0	7	53	473	47,15702	0,081026
7	0	9	53	593	55,01652	0,065496
8	0	11	9	669	62,87603	0,103415
9	0	12	54	774	70,73553	0,074852
10	0	14	42	882	78,59503	0,072773
11	0	16	27	987	86,45454	0,074852
12	0	18	4	1084	94,31404	0,081026
13	0	19	58	1198	102,1735	0,068943
14	0	21	39	1299	110,033	0,077817
15	0	23	33	1413	117,8926	0,068943
16	0	25	41	1541	125,7521	0,061402
17	0	27	52	1672	133,6116	0,059996
18	0	30	2	1802	141,4711	0,060458
19	0	32	14	1934	149,3306	0,059542
20	0	34	24	2064	157,1901	0,060458

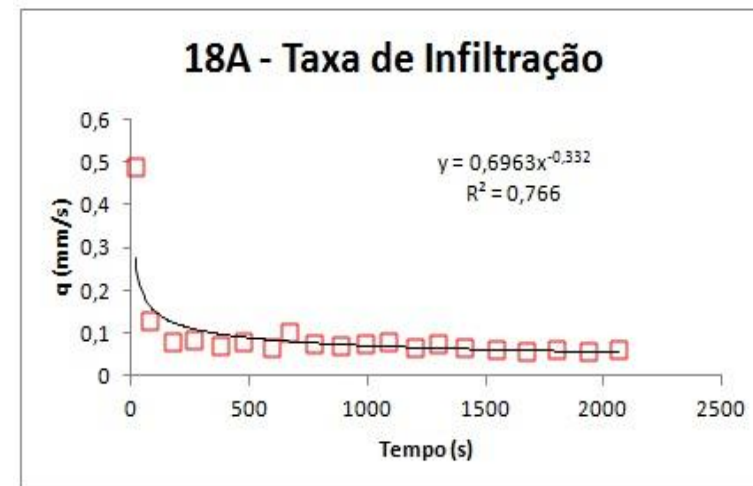


Figura 30- Taxa de infiltração do ponto 4

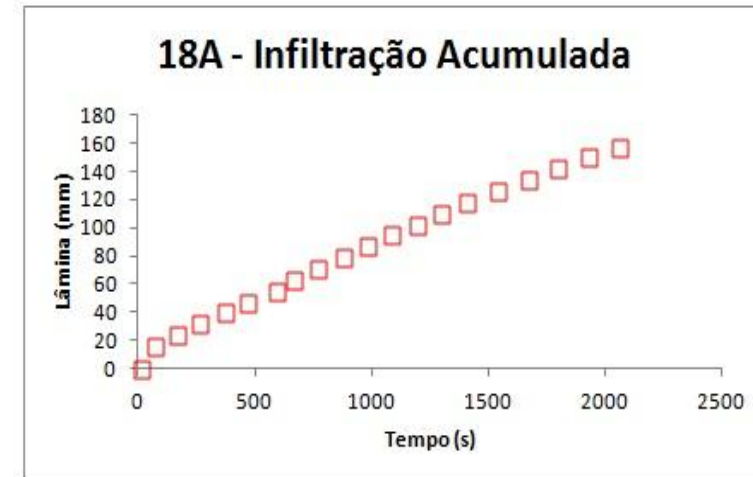


Figura 31- Infiltração acumulada do ponto 4

Tabela 12- Dados de infiltração do ponto 5

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
20B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	19	19	7,85950	0,413658
2	0	0	54	54	15,71901	0,224557
3	0	2	10	130	23,57851	0,103415
4	0	3	27	207	31,43801	0,102071
5	0	5	12	312	39,29752	0,074852
6	0	7	8	428	47,15702	0,067754
7	0	9	7	547	55,01652	0,066046
8	0	11	32	692	62,87603	0,054203
9	0	14	32	872	70,73553	0,043664
10	0	17	34	1054	78,59503	0,043184
11	0	20	44	1244	86,45454	0,041366
12	0	23	48	1428	94,31404	0,042715
13	0	26	56	1616	102,1735	0,041806
14	0	30	10	1810	110,033	0,040513
15	0	33	33	2013	117,8926	0,038717
16	0	37	7	2227	125,7521	0,036727
17	0	40	45	2445	133,6116	0,036053
18	0	44	42	2682	141,4711	0,033162
19	0	48	18	2898	149,3306	0,036387
20	0	51	33	3093	157,1901	0,040305

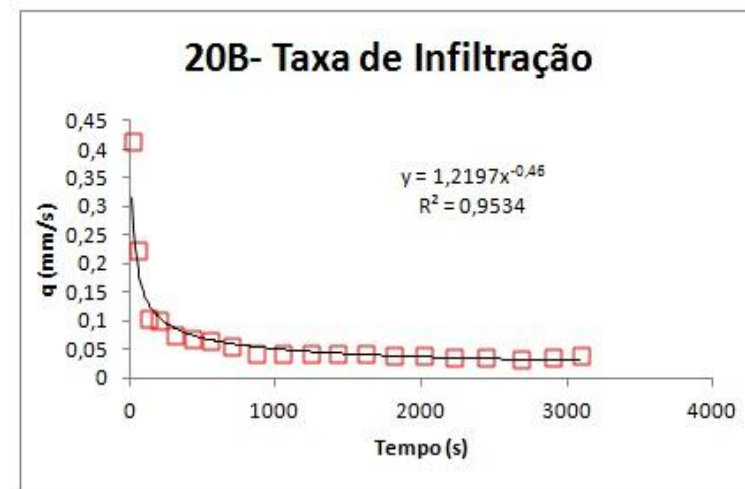


Figura 32- Taxa de infiltração do ponto 5

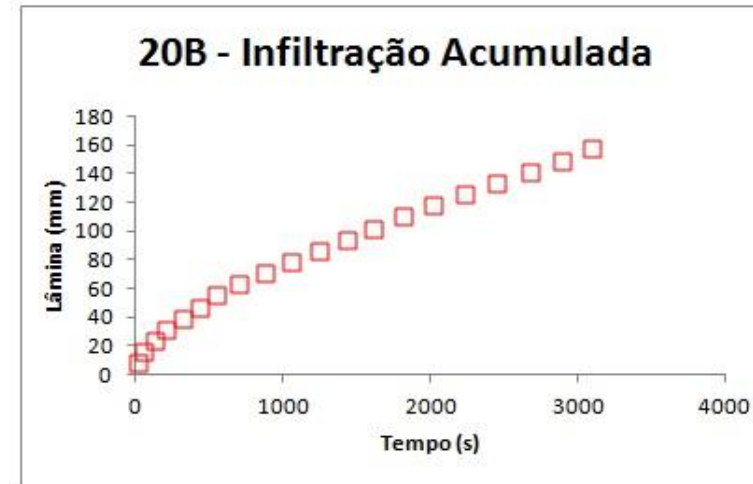


Figura 33- Infiltração acumulada do ponto 5

Tabela 13- Dados de infiltração do ponto 6

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
21A	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	35	35	0	0,224557
2	0	2	12	132	15,71901	0,081026
3	0	4	21	261	23,57851	0,060926
4	0	6	45	405	31,43801	0,054580
5	0	9	23	563	39,29752	0,049744
6	0	12	21	741	47,15702	0,044155
7	0	15	35	935	55,01652	0,040513
8	0	18	45	1125	62,87603	0,041366
9	0	22	11	1331	70,73553	0,038153
10	0	25	45	1545	78,59503	0,036727
11	0	29	7	1747	86,45454	0,038908
12	0	32	54	1974	94,31404	0,034623
13	0	36	39	2199	102,1735	0,034931
14	0	40	19	2419	110,033	0,035725
15	0	44	16	2656	117,8926	0,033162
16	0	47	58	2878	125,7521	0,035403
17	0	52	4	3124	133,6116	0,031949
18	0	55	57	3357	141,4711	0,033732
19	1	0	22	3622	149,3306	0,029659
20	1	4	22	3862	157,1901	0,032748

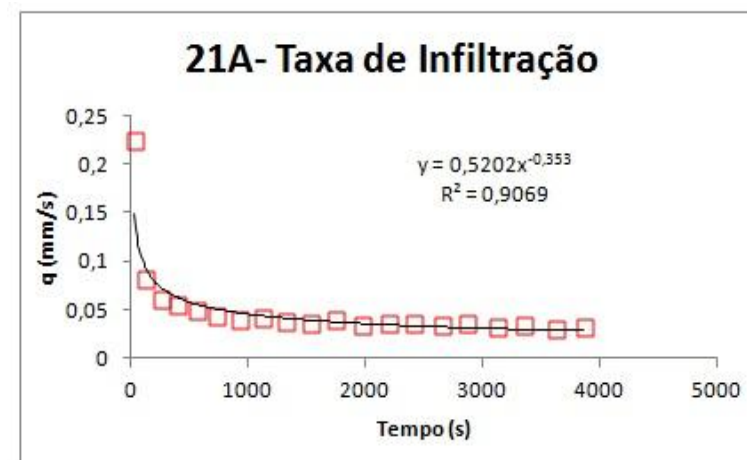


Figura 34- Taxa de infiltração do ponto 6

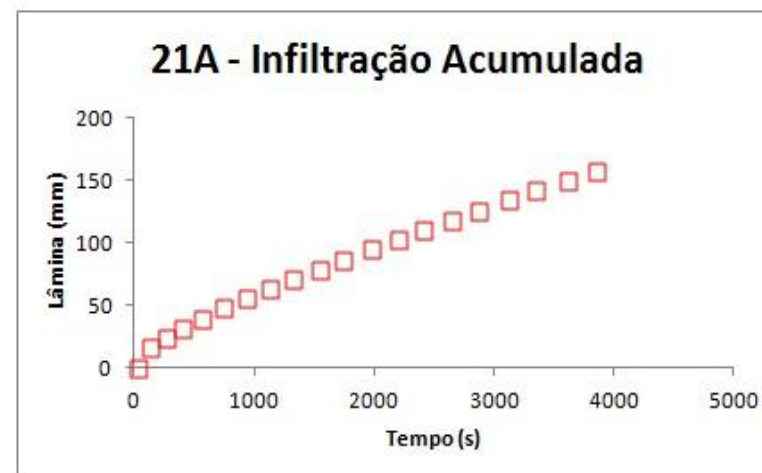


Figura 35- Infiltração acumulada do ponto 6

Tabela 14- Dados de infiltração do ponto 7

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
23B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	38	38	7,859503	0,206829
2	0	2	7	127	15,71901	0,088309
3	0	3	31	211	23,57851	0,093566
4	0	5	0	300	31,43801	0,088309
5	0	6	38	398	39,29752	0,080199
6	0	8	13	493	47,15702	0,082732
7	0	9	46	586	55,01652	0,084511
8	0	11	26	686	62,87603	0,078595
9	0	13	13	793	70,73553	0,073453
10	0	14	48	888	78,59503	0,082732
11	0	16	30	990	86,45454	0,077054
12	0	18	13	1093	94,31404	0,076306
13	0	19	56	1196	102,1735	0,076306
14	0	21	43	1303	110,033	0,073453
15	0	23	28	1408	117,8926	0,074852
16	0	25	21	1521	125,7521	0,069553
17	0	27	10	1630	133,6116	0,072106
18	0	29	3	1743	141,4711	0,069553
19	0	30	43	1843	149,3306	0,078595
20	0	32	45	1965	157,1901	0,064422

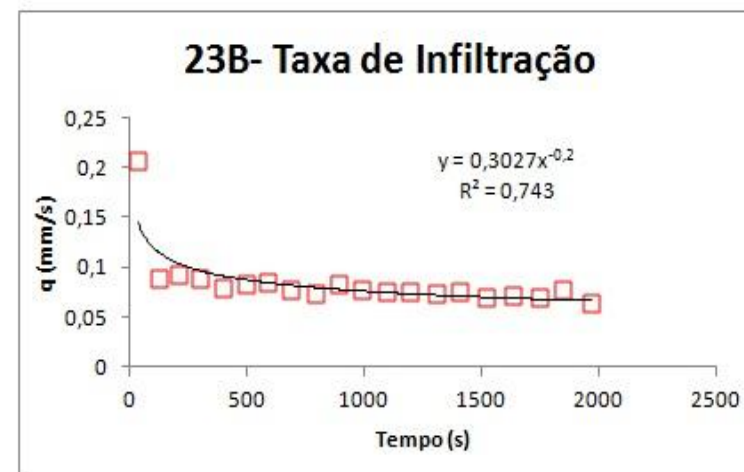


Figura 36- Taxa de infiltração do ponto 7

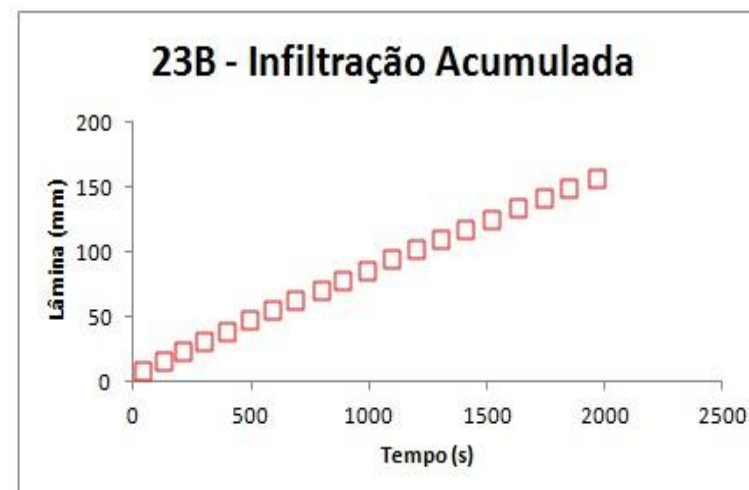


Figura 37- Infiltração acumulada do ponto 7

Tabela 15- Dados de infiltração do ponto 8

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
26B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	19	19	7,859503	0,41366
2	0	0	59	59	15,71901	0,19649
3	0	1	44	104	23,57851	0,17466
4	0	2	34	154	31,43801	0,15719
5	0	3	17	197	39,29752	0,182779
6	0	4	2	242	47,15702	0,174656
7	0	4	44	284	55,01652	0,187131
8	0	5	26	326	62,87603	0,187131
9	0	6	8	368	70,73553	0,187131
10	0	6	48	408	78,59503	0,196488
11	0	7	31	451	86,45454	0,182779
12	0	8	9	489	94,31404	0,206829
13	0	8	48	528	102,1735	0,201526
14	0	9	30	570	110,033	0,187131
15	0	10	9	609	117,8926	0,201526
16	0	10	47	647	125,7521	0,206829
17	0	11	28	688	133,6116	0,191695
18	0	12	7	727	141,4711	0,201526
19	0	12	45	765	149,3306	0,206829
20	0	13	25	805	157,1901	0,196488

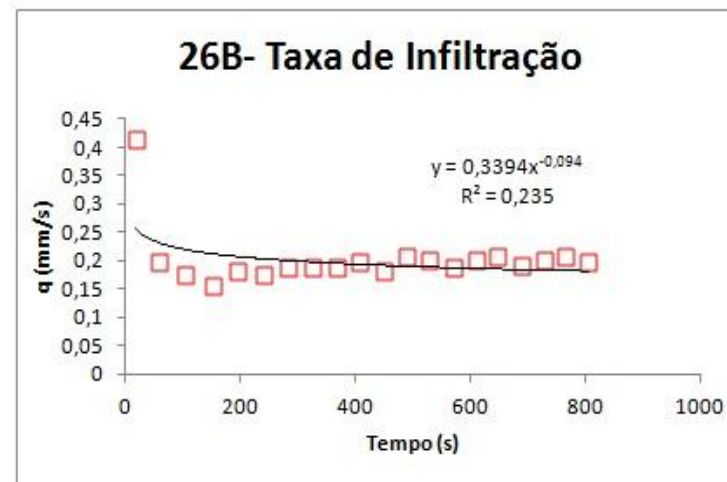


Figura 38- Taxa de infiltração do ponto 8

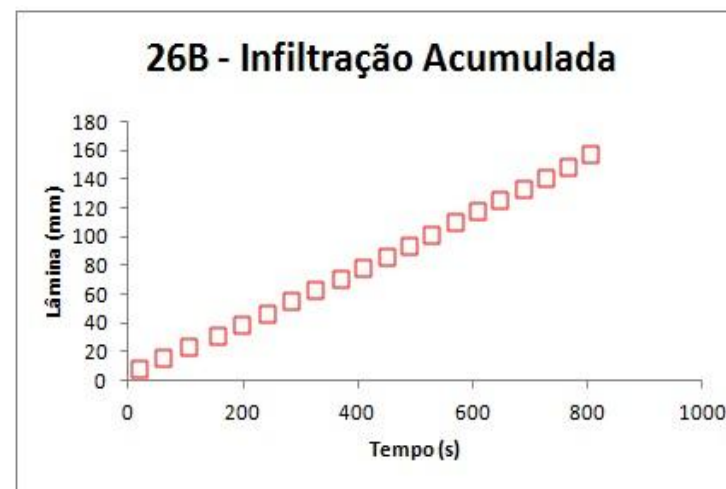


Figura 39- Infiltração acumulada do ponto 8

Tabela 16- Dados de infiltração do ponto 9

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
27B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	8	8	7,85950	0,982438
2	0	0	54	54	15,71901	0,170859
3	0	1	54	114	23,57851	0,130992
4	0	2	48	168	31,43801	0,145546
5	0	3	51	231	39,29752	0,124754
6	0	4	37	277	47,15702	0,170859
7	0	5	28	328	55,01652	0,154108
8	0	6	17	377	62,87603	0,160398
9	0	7	2	422	70,73553	0,174656
10	0	7	44	464	78,59503	0,187131
11	0	8	29	509	86,45454	0,174656
12	0	9	9	549	94,31404	0,196488
13	0	9	50	590	102,1735	0,191695
14	0	10	31	631	110,033	0,191695
15	0	11	15	675	117,8926	0,178625
16	0	12	0	720	125,7521	0,174656
17	0	12	42	762	133,6116	0,187131
18	0	13	23	803	141,4711	0,191695
19	0	14	8	848	149,3306	0,174656
20	0	14	51	891	157,1901	0,182779

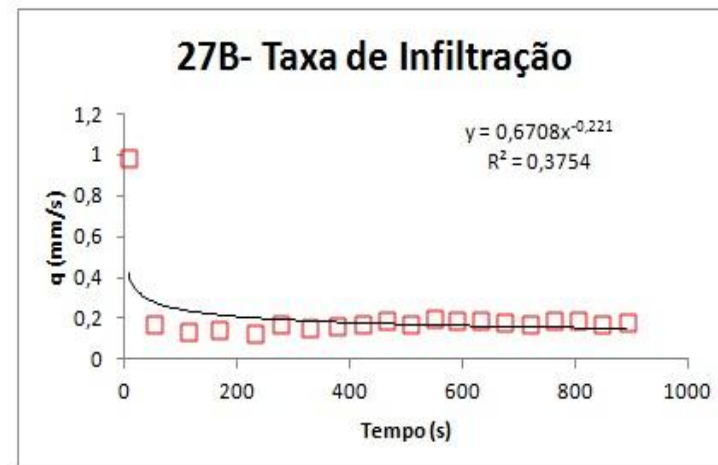


Figura 40- Taxa de infiltração do ponto 9

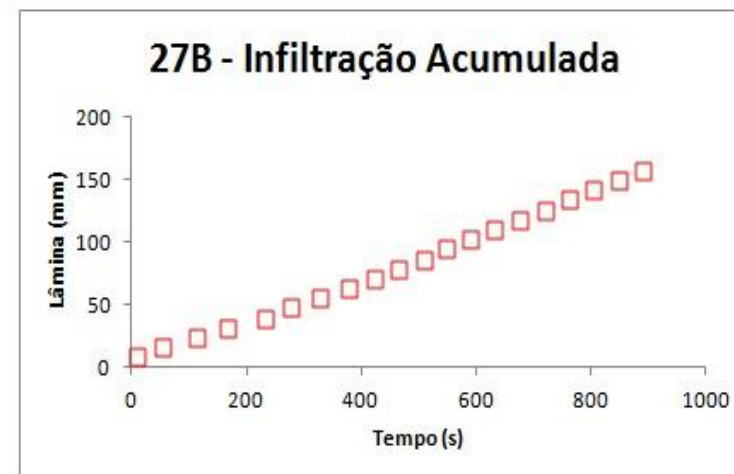


Figura 41- Infiltração acumulada do ponto 9

Tabela 17- Dados de infiltração do ponto 10

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
28B	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	27	27	7,859503	0,291093
2	0	1	56	116	15,71901	0,088309
3	0	4	7	247	23,57851	0,059996
4	0	6	10	370	31,43801	0,063898
5	0	8	32	512	39,29752	0,055349
6	0	10	53	653	47,15702	0,055741
7	0	13	8	788	55,01652	0,058219
8	0	15	58	958	62,87603	0,046232
9	0	18	38	1118	70,73553	0,049122
10	0	21	20	1280	78,59503	0,048515
11	0	24	0	1440	86,45454	0,049122
12	0	26	31	1591	94,31404	0,05205
13	0	29	20	1760	102,1735	0,046506
14	0	31	52	1912	110,033	0,051707
15	0	34	22	2062	117,8926	0,052397
16	0	37	5	2225	125,7521	0,048218
17	0	39	57	2397	133,6116	0,045695
18	0	42	32	2552	141,4711	0,050706
19	0	45	9	2709	149,3306	0,050061
20	0	47	44	2864	157,1901	0,050706

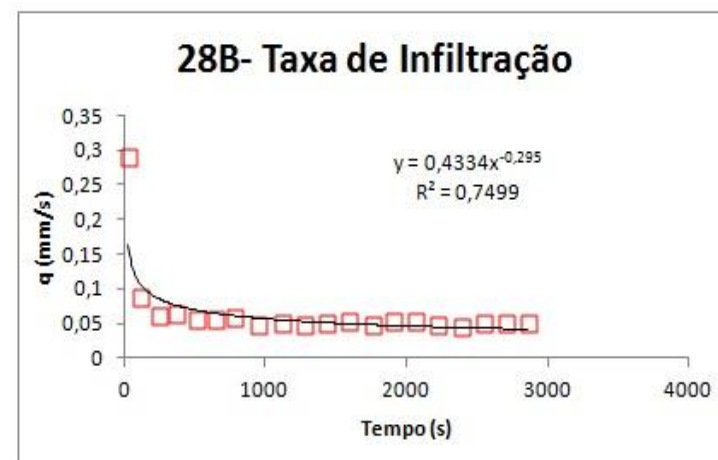


Figura 42- Taxa de infiltração do ponto 10

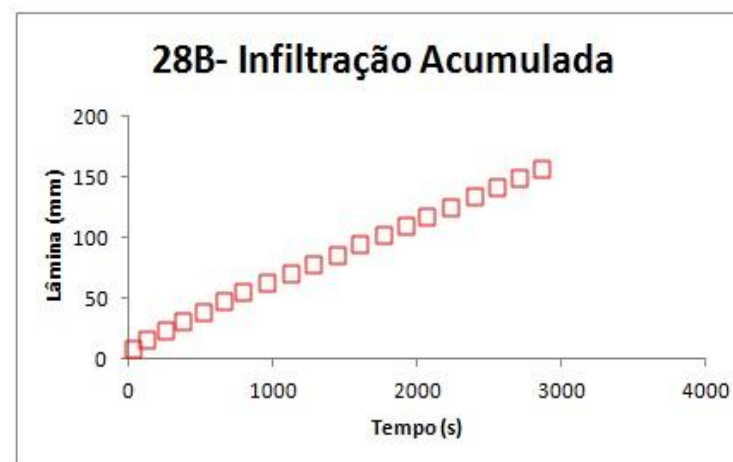


Figura 43- Infiltração acumulada do ponto 10

Tabela 18- Dados de infiltração do ponto 11

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
BG_006	9	150	254,469005	5,894627522		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	25	25	5,894628	0,235785
2	0	1	27	87	11,78926	0,095075
3	0	2	59	179	17,68388	0,064072
4	0	4	53	293	23,57851	0,051707
5	0	7	12	432	29,47314	0,042407
6	0	9	47	587	35,36777	0,03803
7	0	12	38	758	41,26239	0,034472
8	0	16	11	971	47,15702	0,027674
9	0	19	12	1152	53,05165	0,032567
10	0	22	18	1338	58,94628	0,031692
11	0	25	40	1540	64,84090	0,029181
12	0	29	0	1740	70,73553	0,029473
13	0	32	18	1938	76,63016	0,029771
14	0	35	44	2144	82,52479	0,028615
15	0	39	35	2375	88,41941	0,025518
16	0	43	19	2599	94,31404	0,026315
17	0	46	44	2804	100,2087	0,028754
18	0	49	47	2987	106,1033	0,032211
19	0	54	23	3263	111,9979	0,021357
20	0	58	20	3500	117,8926	0,024872
21	1	2	31	3751	123,7872	0,023485

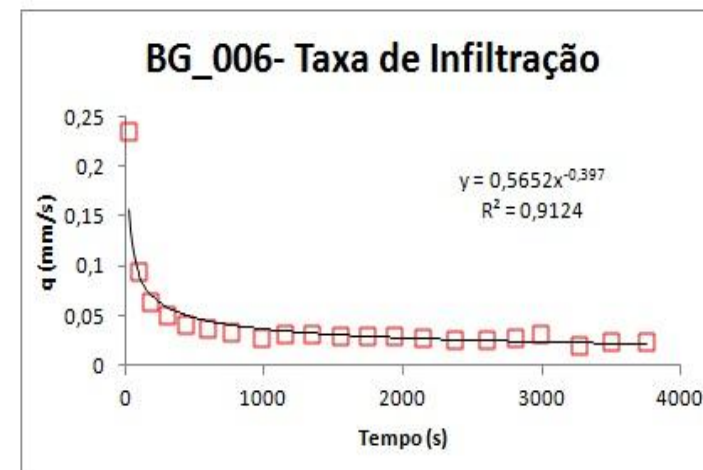


Figura 44- Taxa de infiltração do ponto 11

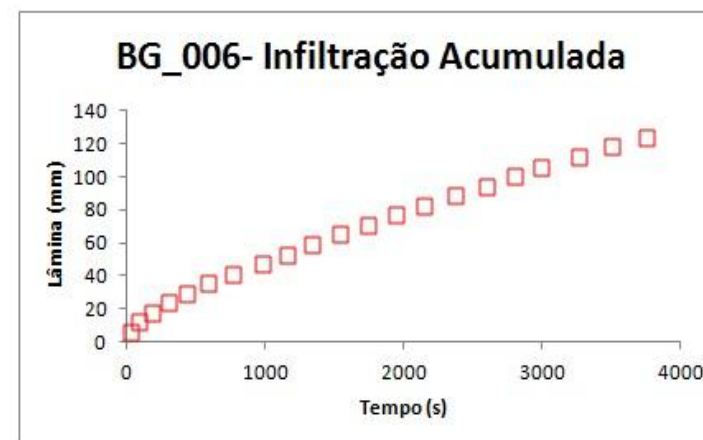


Figura 45- Infiltração acumulada do ponto 11

Tabela 19- Dados de infiltração do ponto 12

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
BG_126	9	150	254,469005	5,894627522		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	8	8	5,894628	0,736828
2	0	0	22	22	11,78926	0,421045
3	0	0	36	36	17,68388	0,421045
4	0	0	50	50	23,57851	0,421045
5	0	1	5	65	29,47314	0,392975
6	0	1	19	79	35,36777	0,421045
7	0	1	32	92	41,26239	0,453433
8	0	1	45	105	47,15702	0,453433
9	0	1	59	119	53,05165	0,421045
10	0	2	12	132	58,94628	0,453433
11	0	2	25	145	64,84090	0,453433
12	0	2	38	158	70,73553	0,453433
13	0	2	51	171	76,63016	0,453433
14	0	3	4	184	82,52479	0,453433
15	0	3	17	197	88,41941	0,453433

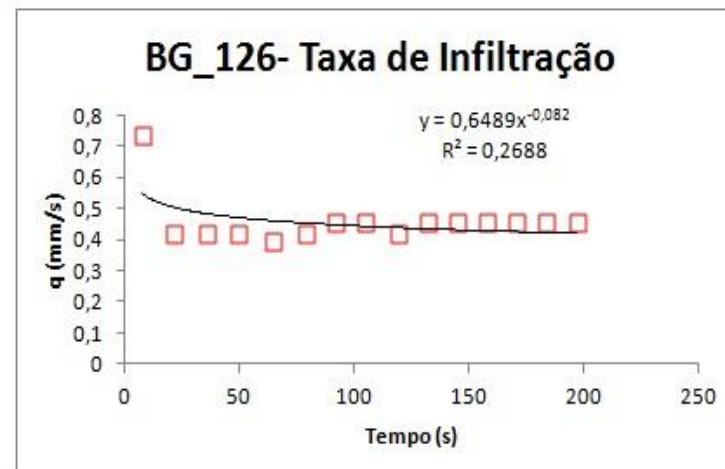


Figura 46- Taxa de infiltração do ponto 12

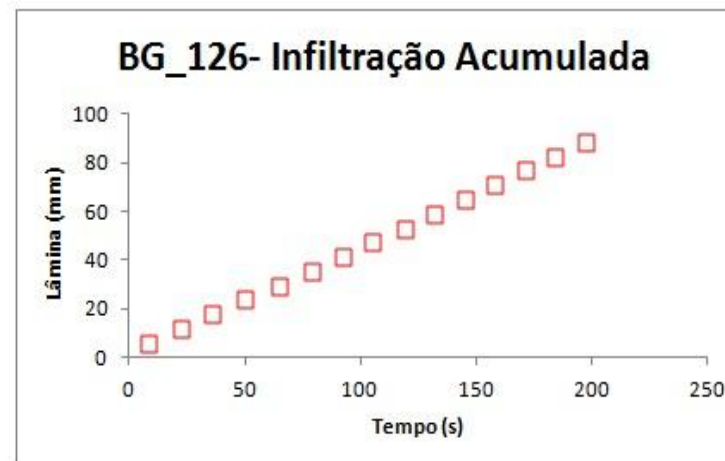


Figura 47- Infiltração acumulada do ponto 12

Tabela 20- Dados de infiltração do ponto 13

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
BG_135	9	150	254,469005	5,894627522		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	9	9	5,894628	0,654959
2	0	0	19	19	11,79	0,589463
3	0	0	31	31	17,68	0,491219
4	0	0	44	44	23,58	0,453433
5	0	0	56	56	29,47	0,491219
6	0	1	10	70	35,37	0,421045
7	0	1	22	82	41,26	0,491219
8	0	1	35	95	47,16	0,453433
9	0	1	47	107	53,05	0,491219
10	0	2	0	120	58,95	0,453433
11	0	2	12	132	64,84	0,491219
12	0	2	24	144	70,73553	0,491219
13	0	2	38	158	76,63016	0,421045
14	0	2	50	170	82,52479	0,491219
15	0	3	3	183	88,41941	0,453433

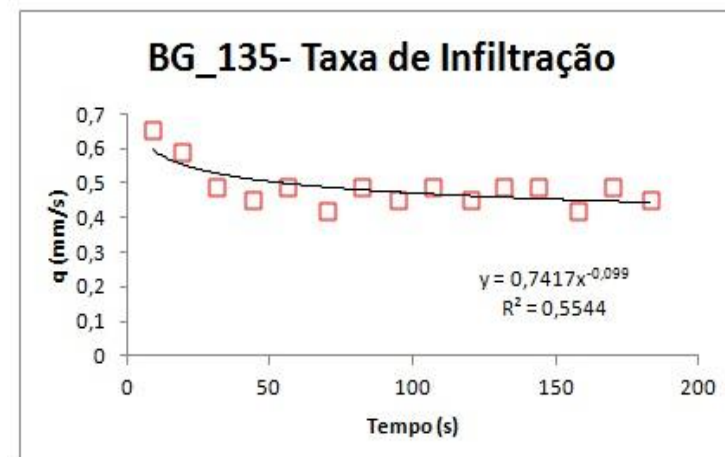


Figura 48- Taxa de infiltração do ponto 13

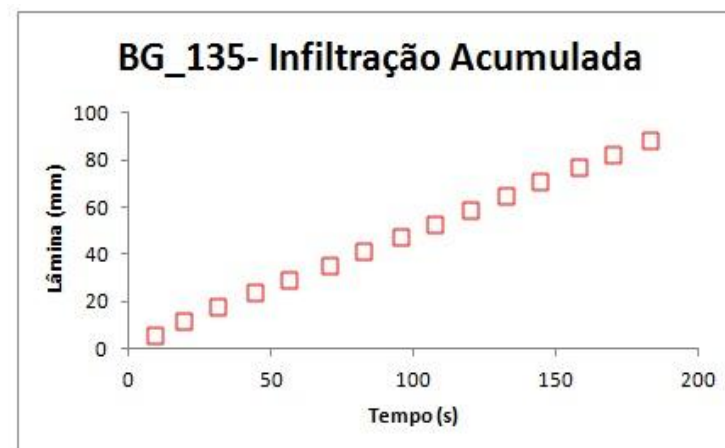


Figura 49- Infiltração acumulada do ponto 13

Tabela 21- Dados de infiltração do ponto 14

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
BG_188	9	100	254,469005	3,929751681		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	20	20	3,929752	0,196488
2	0	1	45	105	7,85950	0,046232
3	0	3	22	202	11,7893	0,040513
4	0	4	43	283	15,7190	0,048515
5	0	5	56	356	19,6488	0,053832
6	0	7	6	426	23,5785	0,056139
7	0	8	19	499	27,5083	0,053832
8	0	9	34	574	31,4380	0,052397
9	0	10	42	642	35,3678	0,05779
10	0	11	47	707	39,2975	0,060458
11	0	12	48	768	43,2273	0,064422
12	0	13	48	828	47,15702	0,065496
13	0	14	45	885	51,08677	0,068943
14	0	15	45	945	55,01652	0,065496
15	0	16	40	1000	58,94628	0,07145

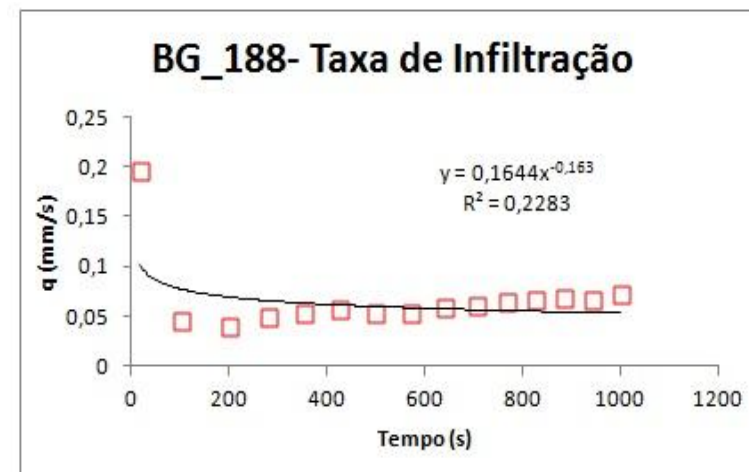


Figura 50- Taxa de infiltração do ponto 14

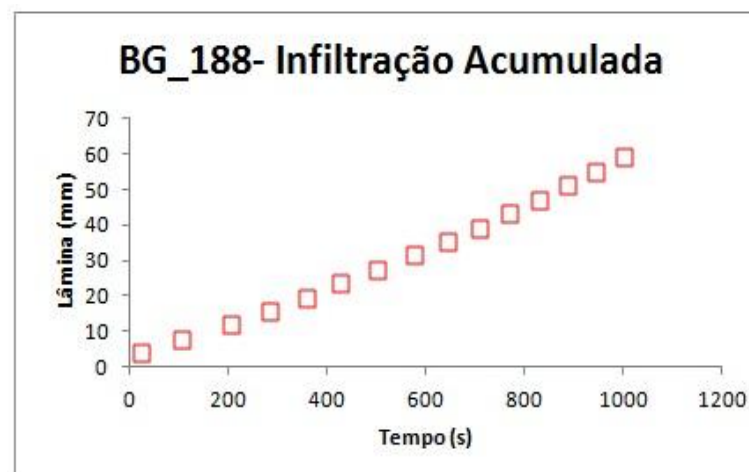


Figura 51- Infiltração acumulada do ponto 14

Tabela 22- Dados de infiltração do ponto 15

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
BG_196	9	150	254,469005	5,894627522		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	4	4	5,894628	1,473657
2	0	0	14	14	11,78926	0,589463
3	0	0	29	29	17,68388	0,392975
4	0	0	47	47	23,57851	0,327479
5	0	1	6	66	29,47314	0,310244
6	0	1	28	88	35,36777	0,267938
7	0	1	50	110	41,26239	0,267938
8	0	2	12	132	47,15702	0,267938
9	0	2	36	156	53,05165	0,245609
10	0	3	1	181	58,94628	0,235785
11	0	3	24	204	64,84090	0,256288
12	0	3	49	229	70,73553	0,235785
13	0	4	11	251	76,63016	0,267938
14	0	4	36	276	82,52479	0,235785
15	0	5	0	300	88,41941	0,245609

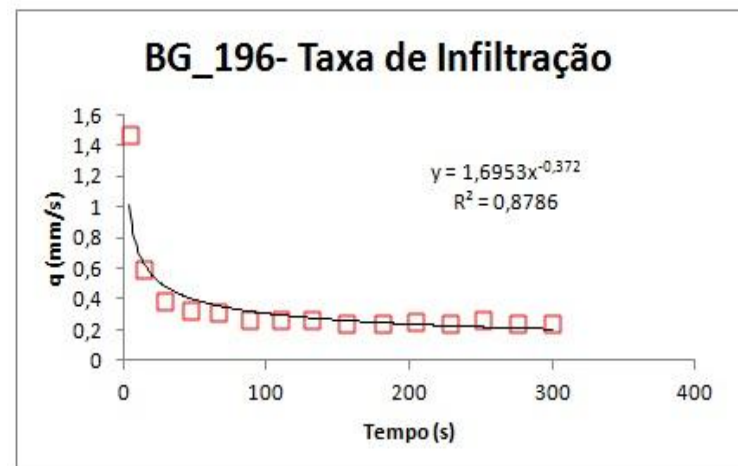


Figura 52- Taxa de infiltração do ponto 15

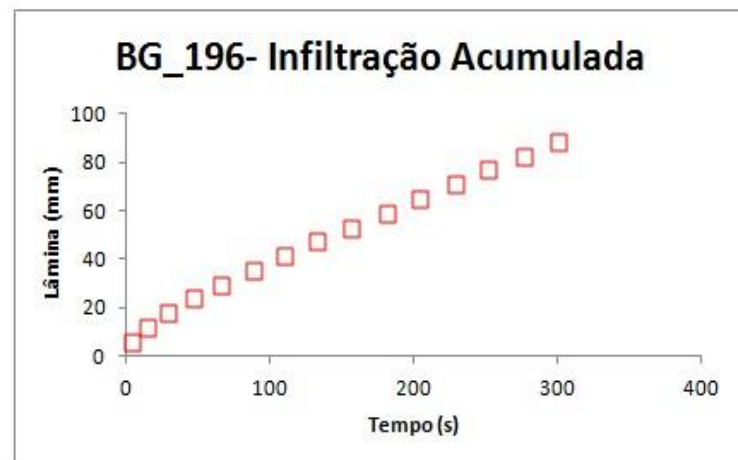


Figura 53- Infiltração acumulada do ponto 15

Tabela 23- Dados de infiltração do ponto 16

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
3AE	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	10	10	31,0000	3,1000
2	0	1	8	68	62,0000	0,5345
3	0	2	24	144	93,0000	0,4079
4	0	3	48	228	124,0000	0,3690
5	0	5	17	317	155,0000	0,3483
6	0	6	52	412	186,0000	0,3263
7	0	8	56	536	217,0000	0,2500
8	0	10	51	651	248,0000	0,2696
9	0	12	52	772	279,0000	0,2562
10	0	14	56	896	310,0000	0,2500
11	0	17	11	1031	341,0000	0,2296
12	0	19	22	1162	372,0000	0,2366
13	0	21	43	1303	403,0000	0,2199
14	0	24	12	1452	434,0000	0,2081
15	0	26	45	1605	465,0000	0,2026
16	0	29	18	1758	496,0000	0,2026
17	0	31	49	1909	527,0000	0,2053
18	0	34	39	2079	558,0000	0,1824
19	0	37	32	2252	589,0000	0,1792
20	0	40	22	2422	620,0000	0,1824
21	0	43	25	2605	651,0000	0,1694
22	0	46	35	2795	682,0000	0,1632

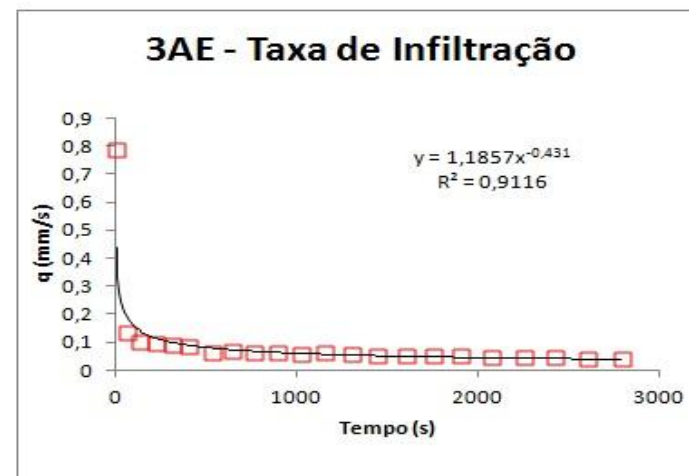


Figura 54- Taxa de infiltração do ponto 16

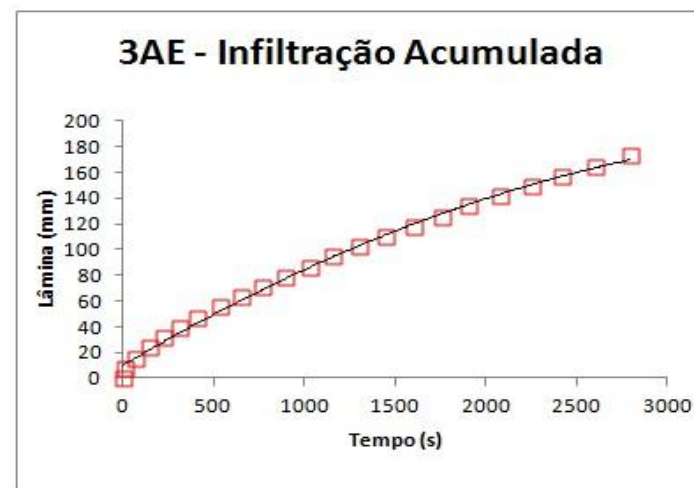


Figura 55- Infiltração acumulada do ponto 16

Tabela 24- Dados de infiltração do ponto 17

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)			
9CE	9	200	254,469005	7,859503363			
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração	
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)	
0	0	0	31	0	0	0	
1	0	1	9	38	31,0000	0,8158	
2	0	1	47	76	62,0000	0,8158	
3	0	2	58	147	93,0000	0,4366	
4	0	3	39	188	124,0000	0,7561	
5	0	4	25	234	155,0000	0,6739	
6	0	5	7	276	186,0000	0,7381	
7	0	5	57	326	217,0000	0,6200	
8	0	6	50	379	248,0000	0,5849	
9	0	7	41	430	279,0000	0,6078	
10	0	8	38	487	310,0000	0,5439	
11	0	9	27	536	341,0000	0,6327	
12	0	10	26	595	372,0000	0,5254	
13	0	11	16	645	403,0000	0,6200	
14	0	12	4	693	434,0000	0,6458	
15	0	12	57	746	465,0000	0,5849	
16	0	13	46	795	496,0000	0,6327	
17	0	14	38	847	527,0000	0,5962	
18	0	15	28	897	558,0000	0,6200	
19	0	16	17	946	589,0000	0,6327	
20	0	17	10	999	620,0000	0,5849	

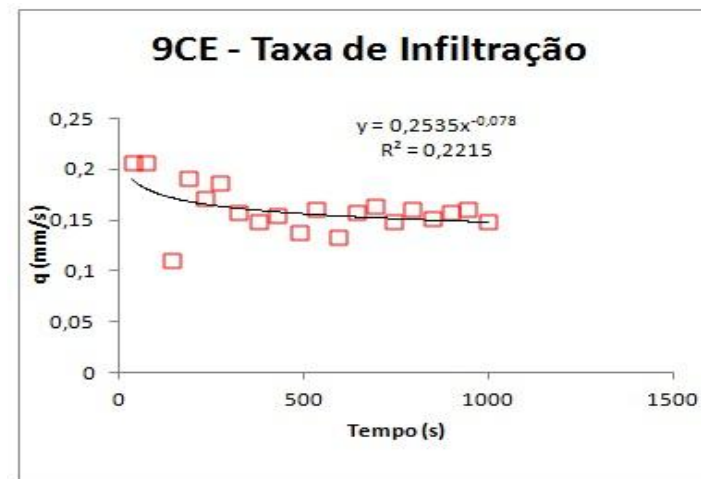


Figura 56- Taxa de infiltração do ponto 17

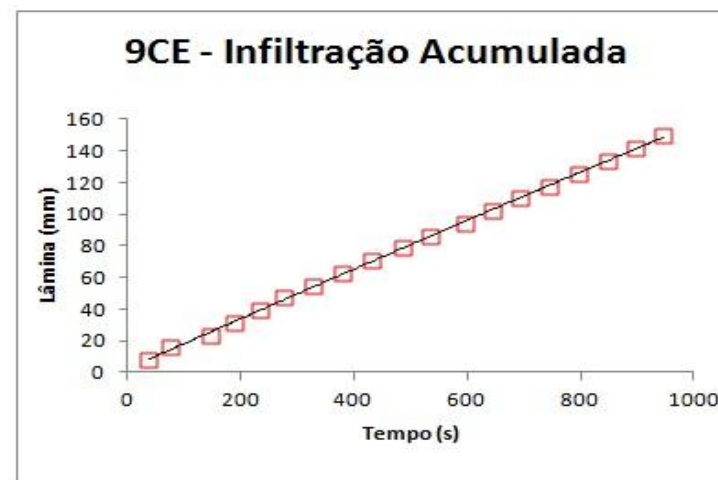


Figura 57- Infiltração acumulada do ponto 17

Tabela 25- Dados de infiltração do ponto 18

ID	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
10AE	9	200	254,469005	7,859503363		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	I (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	53	113	31,0000	0,27434
2	0	7	58	478	62,0000	0,08493
3	0	19	41	1181	93,0000	0,04410
4	0	30	20	1820	124,0000	0,04851
5	0	40	21	2421	155,0000	0,05158
6	0	49	55	2995	186,0000	0,05401

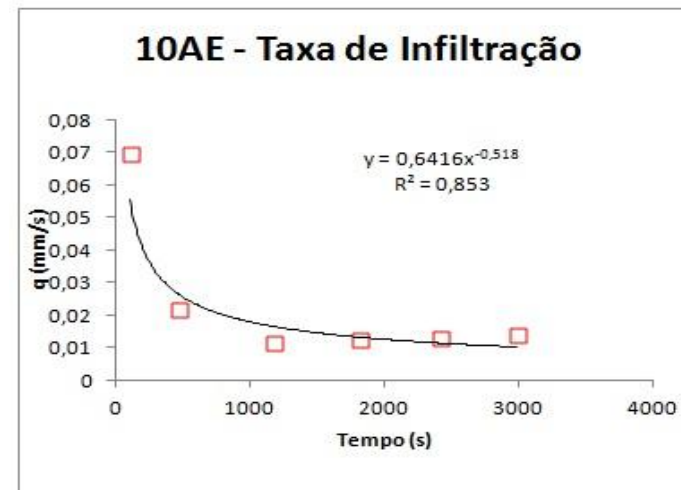


Figura 58- Taxa de infiltração do ponto 18

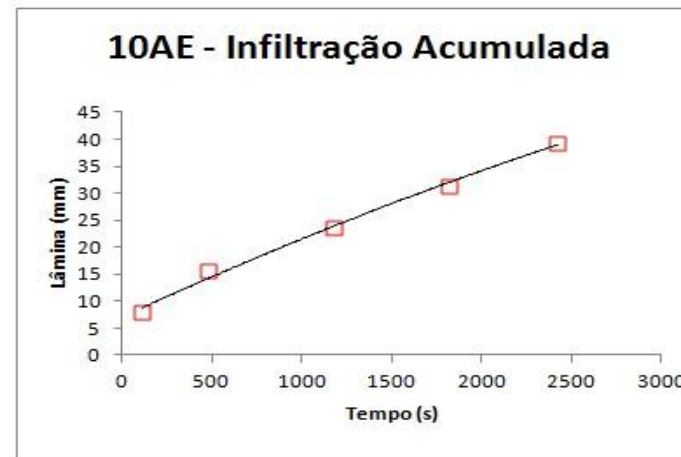


Figura 59- Infiltração acumulada do ponto 18

APÊNDICE D

DADOS DE INFILTRAÇÃO DOS PONTOS DESCARTADOS SEM ESTABILIZAÇÃO DA LÂMINA INFILTRADA

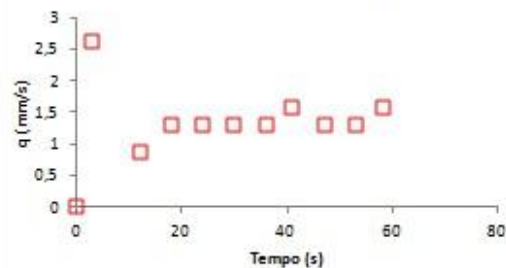
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
3A	9	200	254,4615	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	3	3	7,86	2,62
2	0	0	12	12	15,72	0,87
3	0	0	18	18	23,58	1,31
4	0	0	24	24	31,44	1,31
5	0	0	30	30	39,30	1,31
6	0	0	36	36	47,16	1,31
7	0	0	41	41	55,02	1,57
8	0	0	47	47	62,88	1,31
9	0	0	53	53	70,74	1,31
10	0	0	58	58	78,60	1,57

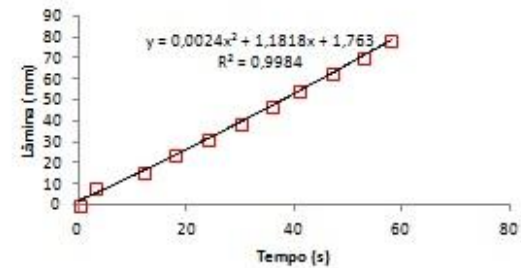
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
3B	9	200	254,463005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	10	10	7,85950336	0,78595
2	0	0	22	22	15,7190067	0,654959
3	0	0	33	33	23,58	0,71
4	0	0	42	42	31,44	0,87
5	0	0	53	53	39,30	0,71
6	0	1	5	65	47,16	0,65
7	0	1	14	74	55,02	0,87
8	0	1	23	83	62,88	0,87
9	0	1	34	94	70,74	0,71
10	0	1	43	103	78,60	0,87

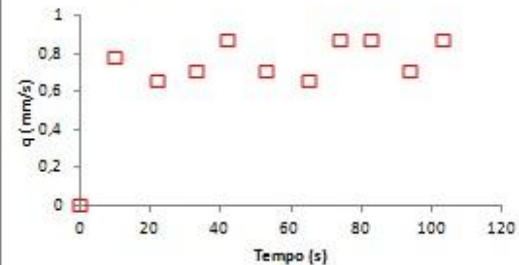
3A - Taxa de Infiltração



3A - Infiltração Acumulada



3B - Taxa de Infiltração



3B - Infiltração Acumulada

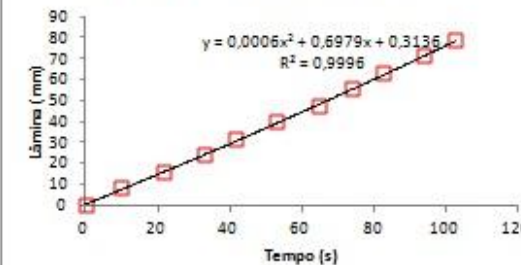
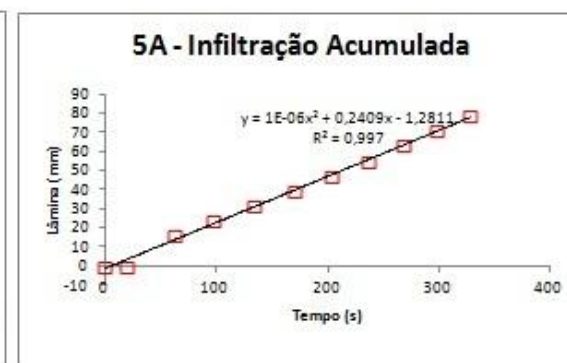
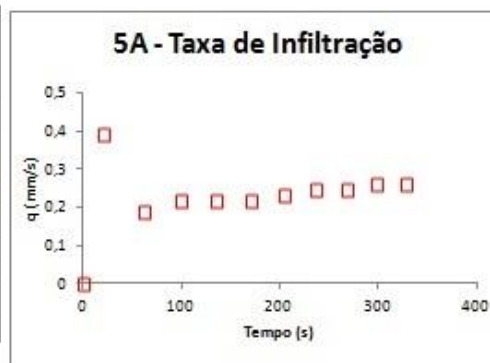


Figura 60- Dados de infiltração do ponto excluído 1 (3A e 3B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
5A	9	200	254,46	7,86

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	20	20	0,00	0,39
2	0	1	2	62	15,72	0,19
3	0	1	38	98	23,58	0,22
4	0	2	14	134	31,44	0,22
5	0	2	50	170	39,30	0,22
6	0	3	24	204	47,16	0,23
7	0	3	56	236	55,02	0,25
8	0	4	28	268	62,88	0,25
9	0	4	58	298	70,74	0,26
10	0	5	28	328	78,60	0,26



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
5B	9	200	254,47	7,86

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	21	21	7,86	0,37
2	0	0	48	48	15,72	0,29
3	0	1	9	69	23,58	0,37
4	0	1	29	89	31,44	0,39
5	0	1	47	107	39,30	0,44
6	0	2	6	126	47,16	0,41
7	0	2	23	143	55,02	0,46
8	0	2	38	158	62,88	0,52
9	0	2	54	174	70,74	0,49
10	0	3	9	189	78,60	0,52
11	0	3	27	207	86,45	0,44
12	0	3	41	221	94,31	0,56
13	0	3	57	237	102,17	0,49
14	0	4	13	253	110,03	0,49
15	0	4	28	268	117,89	0,52
16	0	4	43	283	125,75	0,52
17	0	4	59	299	133,61	0,49
18	0	5	14	314	141,47	0,52
19	0	5	29	329	149,33	0,52
20	0	5	45	345	157,19	0,49
21	0	5	59	359	165,05	0,56

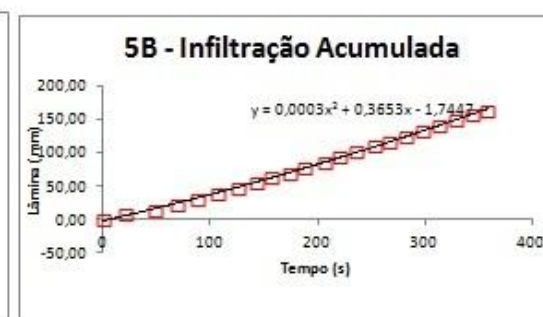
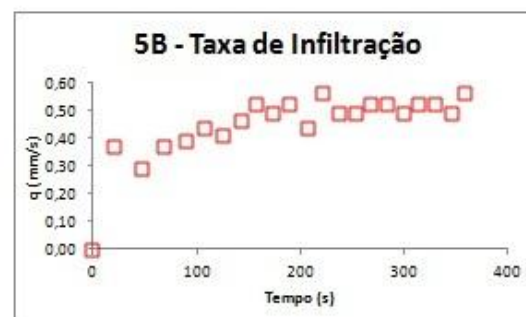
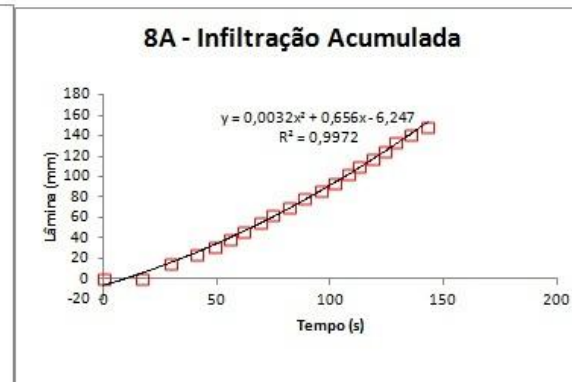
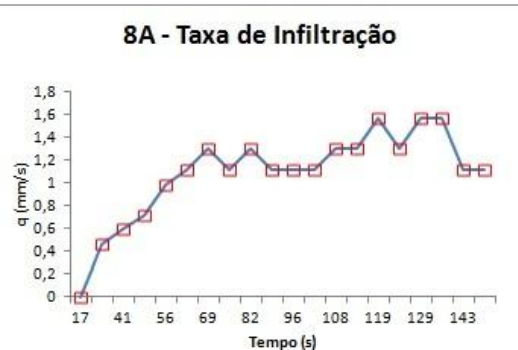


Figura 61- Dados de infiltração do ponto excluído 2 (5A e 5B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
8A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)	tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h min seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0 0 0	0	0	
1	0 0 17	17	0	0,46232
2	0 0 30	30	15,72	0,60
3	0 0 41	41	23,58	0,71
4	0 0 49	49	31,44	0,98
5	0 0 56	56	39,30	1,12
6	0 1 2	62	47,16	1,31
7	0 1 9	69	55,02	1,12
8	0 1 15	75	62,88	1,31
9	0 1 22	82	70,74	1,12
10	0 1 29	89	78,60	1,12
11	0 1 36	96	86,45	1,12
12	0 1 42	102	94,3140404	1,30992
13	0 1 48	108	102,173544	1,30992
14	0 1 53	113	110,033047	1,5719
15	0 1 59	119	117,89255	1,30992
16	0 2 4	124	125,752054	1,5719
17	0 2 9	129	133,611557	1,5719
18	0 2 16	136	141,471061	1,12279
19	0 2 23	143	149,330564	1,12279



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
8B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)	tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h min seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0 0 0	0	0,00	0,00
1	0 0 13	13	7,86	0,60
2	0 0 22	22	15,72	0,87
3	0 0 37	37	23,58	0,52
4	0 0 46	46	31,44	0,87
5	0 0 53	53	39,2975168	1,12279
6	0 1 1	61	47,1570202	0,98244
7	0 1 8	68	55,0165235	1,12279
8	0 1 16	76	62,8760269	0,98244
9	0 1 23	83	70,7355303	1,12279
10	0 1 30	90	78,5950336	1,12279
11	0 1 36	96	86,454537	1,30992
12	0 1 44	104	94,3140404	0,98244
13	0 1 50	110	102,173544	1,30992
14	0 1 56	116	110,033047	1,30992
15	0 2 2	122	117,89255	1,30992
16	0 2 9	129	125,752054	1,12279
17	0 2 14	134	133,611557	1,5719
18	0 2 20	140	141,471061	1,30992
19	0 2 25	145	149,330564	1,5719

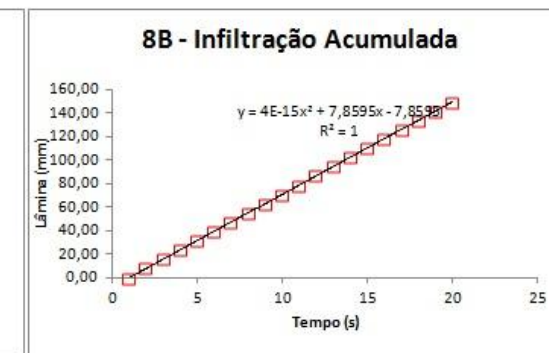
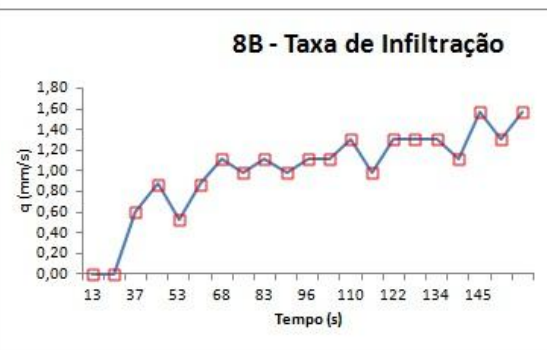
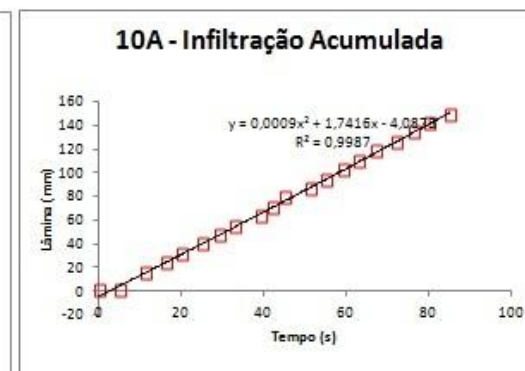


Figura 62- Dados de infiltração do ponto excluído 3 (8A e 8B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
10A	3	200	254,469005	7,85350336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	5	5	0	1,571901
2	0	0	11	11	15,72	1,31
3	0	0	16	16	23,58	1,57
4	0	0	20	20	31,44	1,96
5	0	0	25	25	39,30	1,57
6	0	0	29	29	47,16	1,96
7	0	0	33	33	55,02	1,96
8	0	0	39	39	62,88	1,31
9	0	0	42	42	70,74	2,62
10	0	0	45	45	78,60	2,62
11	0	0	51	51	86,45	1,31
12	0	0	55	55	94,3140404	1,964876
13	0	0	59	59	102,173544	1,964876
14	0	1	3	63	110,033047	1,964876
15	0	1	7	67	117,89255	1,964876
16	0	1	12	72	125,752054	1,571901
17	0	1	16	76	133,611557	1,964876
18	0	1	20	80	141,471061	1,964876
19	0	1	25	85	149,330564	1,571901



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
10B	3	200	254,463005	7,85350336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	21	21	7,86	0,37
2	0	0	39	39	15,72	0,44
3	0	0	55	55	23,58	0,49
4	0	1	16	76	31,44	0,37
5	0	1	34	94	39,2975168	0,436639
6	0	1	50	110	47,1570202	0,491219
7	0	2	7	127	55,0165235	0,462324
8	0	2	19	139	62,8760269	0,654959
9	0	2	32	152	70,7355303	0,604577
10	0	2	44	164	78,5950336	0,654959
11	0	2	57	177	86,454537	0,604577
12	0	3	9	189	94,3140404	0,654959
13	0	3	20	200	102,173544	0,7145
14	0	3	31	211	110,033047	0,7145
15	0	3	44	224	117,89255	0,604577
16	0	3	54	234	125,752054	0,78595
17	0	4	7	247	133,611557	0,604577
18	0	4	15	255	141,471061	0,982438
19	0	4	25	265	149,330564	0,78595

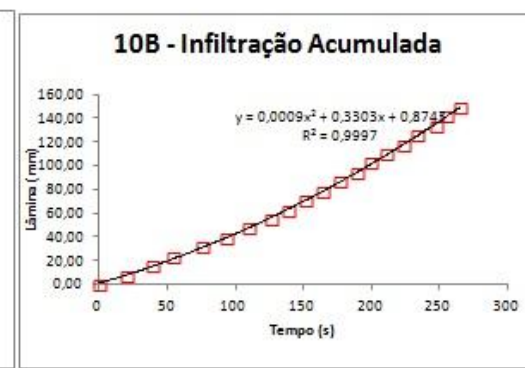
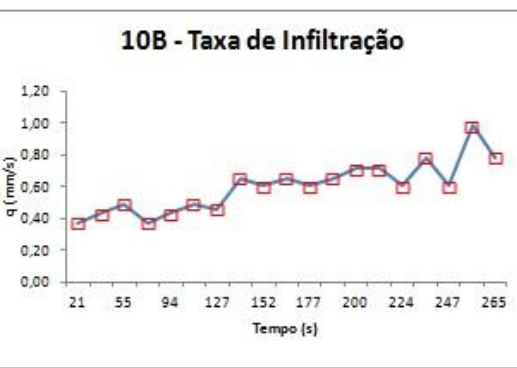
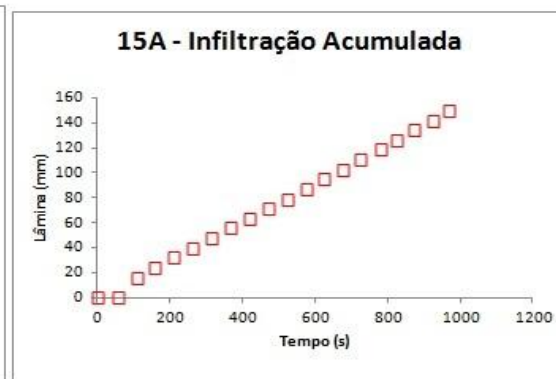
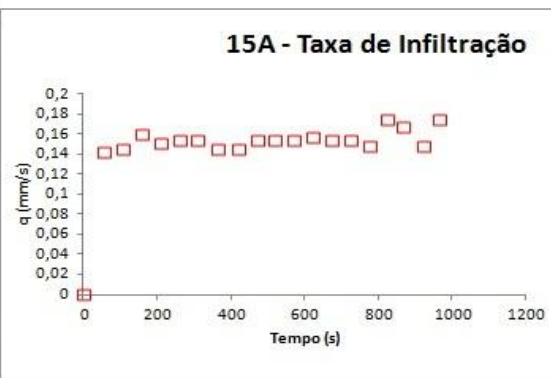


Figura 63- Dados de infiltração do ponto excluído 4 (10A e 10B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
15A	9	200	254,469005	7,85950336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	55	55	0	0,1429
2	0	1	49	109	15,72	0,15
3	0	2	38	158	23,58	0,16
4	0	3	30	210	31,44	0,15
5	0	4	21	261	39,30	0,15
6	0	5	12	312	47,16	0,15
7	0	6	6	366	55,02	0,15
8	0	7	0	420	62,88	0,15
9	0	7	51	471	70,74	0,15
10	0	8	42	522	78,60	0,15
11	0	9	33	573	86,45	0,15
12	0	10	23	623	94,3140404	0,15719
13	0	11	14	674	102,173544	0,15411
14	0	12	5	725	110,033047	0,15411
15	0	12	58	778	117,89255	0,14829
16	0	13	43	823	125,752054	0,17466
17	0	14	30	870	133,611557	0,16722
18	0	15	23	923	141,471061	0,14829
19	0	16	8	968	149,330564	0,17466



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
15B	9	200	254,469005	7,85950336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	57	57	7,86	0,14
2	0	1	53	113	15,72	0,14
3	0	2	42	162	23,58	0,16
4	0	3	29	209	31,44	0,17
5	0	4	10	250	39,2975168	0,1917
6	0	4	55	295	47,1570202	0,17466
7	0	5	42	342	55,0165235	0,16722
8	0	6	34	394	62,8760269	0,15114
9	0	7	26	446	70,7355303	0,15114
10	0	8	19	499	78,5950336	0,14829
11	0	9	7	547	86,454537	0,16374
12	0	9	55	595	94,3140404	0,16374
13	0	10	39	639	102,173544	0,17863
14	0	11	34	694	110,033047	0,1429
15	0	12	24	744	117,89255	0,15719
16	0	13	14	794	125,752054	0,15719
17	0	13	59	839	133,611557	0,17466
18	0	14	40	880	141,471061	0,1917
19	0	15	37	937	149,330564	0,13789

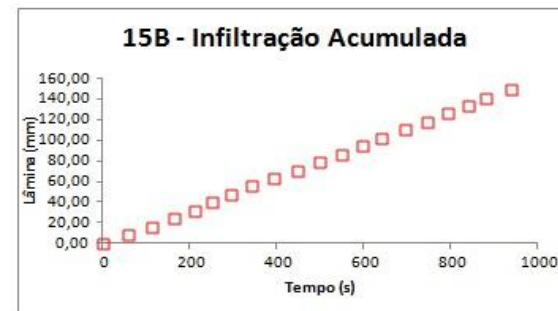
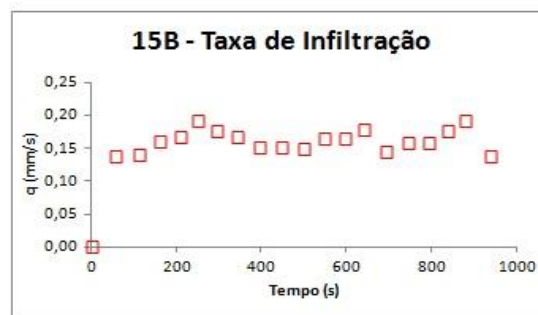
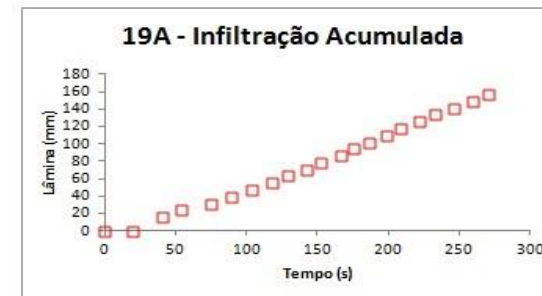
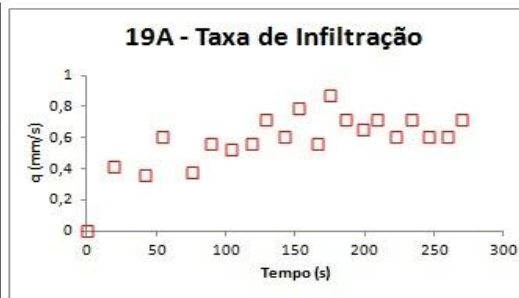


Figura 64- Dados de infiltração do ponto excluído 5 (15A e 15B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
19A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	19	19	0	0,41366
2	0	0	41	41	15,72	0,36
3	0	0	54	54	23,58	0,60
4	0	1	15	75	31,44	0,37
5	0	1	29	89	39,30	0,56
6	0	1	44	104	47,16	0,52
7	0	1	58	118	55,02	0,56
8	0	2	9	129	62,88	0,71
9	0	2	22	142	70,74	0,60
10	0	2	32	152	78,60	0,79
11	0	2	46	166	86,45	0,56
12	0	2	55	175	94,3140404	0,87328
13	0	3	6	186	102,173544	0,7145
14	0	3	18	198	110,033047	0,65496
15	0	3	29	209	117,89255	0,7145
16	0	3	42	222	125,752054	0,60458
17	0	3	53	233	133,611557	0,7145
18	0	4	6	246	141,471061	0,60458
19	0	4	19	259	149,330564	0,60458
20	0	4	30	270	157,190067	0,7145



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
19B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	20	20	7,86	0,39
2	0	0	39	39	15,72	0,41
3	0	0	54	54	23,58	0,52
4	0	1	5	65	31,4380135	0,7145
5	0	1	15	75	39,2975168	0,78595
6	0	1	26	86	47,1570202	0,7145
7	0	1	37	97	55,0165235	0,7145
8	0	1	46	106	62,8760269	0,87328
9	0	1	55	115	70,7355303	0,87328
10	0	2	2	122	78,5950336	1,12279
11	0	2	11	131	86,454537	0,87328
12	0	2	19	139	94,3140404	0,98244
13	0	2	28	148	102,173544	0,87328
14	0	2	37	157	110,033047	0,87328
15	0	2	45	165	117,89255	0,98244
16	0	2	54	174	125,752054	0,87328
17	0	3	1	181	133,611557	1,12279
18	0	3	9	189	141,471061	0,98244
19	0	3	17	197	149,330564	0,98244
20	0	3	26	206	157,190067	0,87328

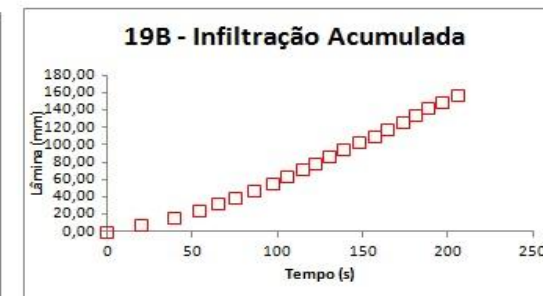
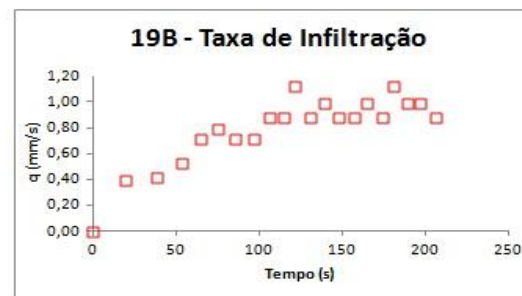
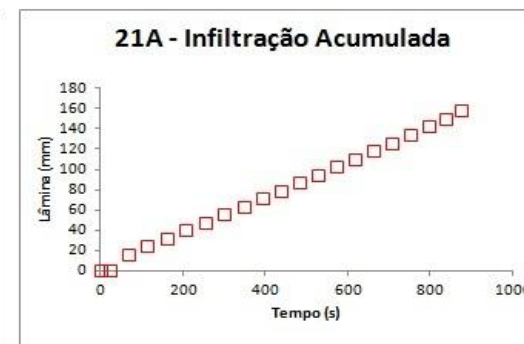


Figura 65- Dados de infiltração do ponto excluído 6 (19A e 19B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
21A	9	200	254,469005	7,85950336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	25	25	0	0,31438
2	0	1	7	67	15,72	0,19
3	0	1	53	113	23,58	0,17
4	0	2	41	161	31,44	0,16
5	0	3	28	208	39,30	0,17
6	0	4	16	256	47,16	0,16
7	0	5	2	302	55,02	0,17
8	0	5	49	349	62,88	0,17
9	0	6	35	395	70,74	0,17
10	0	7	20	440	78,60	0,17
11	0	8	2	482	86,45	0,19
12	0	8	49	529	94,3140404	0,16722
13	0	9	33	573	102,173544	0,17863
14	0	10	17	617	110,033047	0,17863
15	0	11	4	664	117,89255	0,16722
16	0	11	48	708	125,752054	0,17863
17	0	12	32	752	133,611557	0,17863
18	0	13	16	796	141,471061	0,17863
19	0	13	58	838	149,330564	0,18713
20	0	14	37	877	157,190067	0,20153



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)		
21B	9	200	254,469005	7,85950336		
n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	55	55	7,86	0,14
2	0	3	32	212	15,72	0,05
3	0	6	19	379	23,58	0,05
4	0	8	53	533	31,4380135	0,05104
5	0	11	30	690	39,2975168	0,05006
6	0	13	54	834	47,1570202	0,05458
7	0	16	32	992	55,0165235	0,04974
8	0	18	37	1117	62,8760269	0,06288
9	0	20	55	1255	70,7355303	0,05695
10	0	23	2	1382	78,5950336	0,06189
11	0	25	15	1515	86,454537	0,05909
12	0	27	16	1636	94,3140404	0,06495
13	0	29	31	1771	102,173544	0,05822
14	0	31	26	1886	110,033047	0,06834
15	0	33	35	2015	117,89255	0,06093
16	0	35	28	2128	125,752054	0,06955
17	0	37	33	2253	133,611557	0,06288
18	0	39	40	2380	141,471061	0,06189
19	0	41	21	2481	149,330564	0,07782
20	0	43	11	2591	157,190067	0,07145

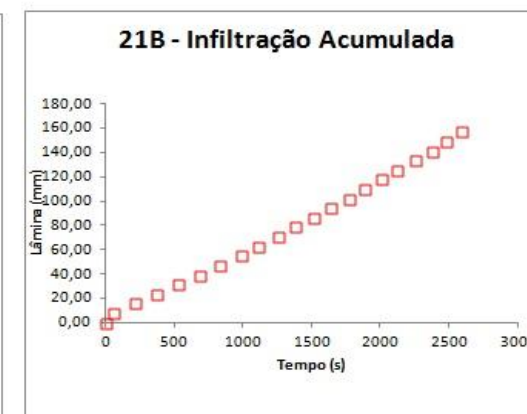
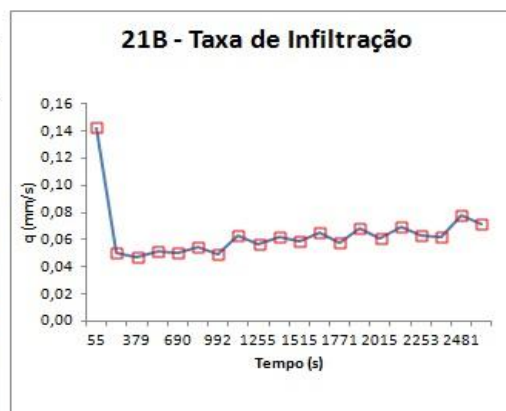
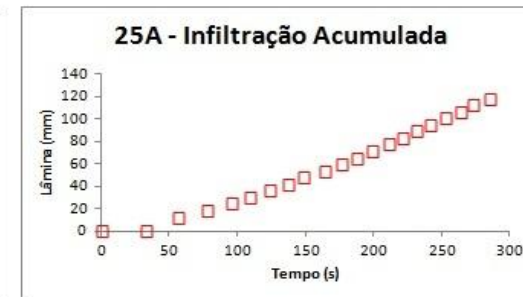


Figura 66- Dados de infiltração do ponto excluído 7 (21A e 21B)

Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
25A	9	150	254,469005	5,89462752

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	33	33	0	0,17883
2	0	0	56	56	11,79	0,26
3	0	1	18	78	17,68	0,27
4	0	1	36	96	23,58	0,33
5	0	1	49	109	29,47	0,45
6	0	2	4	124	35,37	0,39
7	0	2	17	137	41,26	0,45
8	0	2	29	149	47,16	0,49
9	0	2	44	164	53,05	0,39
10	0	2	56	176	58,95	0,49
11	0	3	8	188	64,84	0,49
12	0	3	19	199	70,7355303	0,53588
13	0	3	31	211	76,6301578	0,49122
14	0	3	41	221	82,5247853	0,58946
15	0	3	52	232	88,4194128	0,53588
16	0	4	2	242	94,3140404	0,58946
17	0	4	13	253	100,208668	0,53588
18	0	4	24	264	106,103295	0,53588
19	0	4	33	273	111,997923	0,65496
20	0	4	45	285	117,89255	0,49122



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
25B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada	Taxa de Infiltração
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0,00	0,00
1	0	0	3	3	7,86	2,62
2	0	0	13	13	15,72	0,79
3	0	0	24	24	23,58	0,71
4	0	0	34	34	31,4380135	0,78595
5	0	0	45	45	39,2975168	0,7145
6	0	0	58	58	47,1570202	0,60458
7	0	1	10	70	55,0165235	0,65496
8	0	1	22	82	62,8760269	0,65496
9	0	1	32	92	70,7355303	0,78595
10	0	1	43	103	78,5950336	0,7145
11	0	1	54	114	86,454537	0,7145
12	0	2	10	130	94,3140404	0,65954
13	0	2	23	143	102,173544	0,60458
14	0	2	34	154	110,033047	0,7145
15	0	2	44	164	117,89255	0,78595
16	0	2	55	175	125,752054	0,7145
17	0	3	5	185	133,611557	0,78595
18	0	3	13	193	141,471061	0,98244
19	0	3	23	203	149,330564	0,78595
20	0	3	31	211	157,190067	0,98244

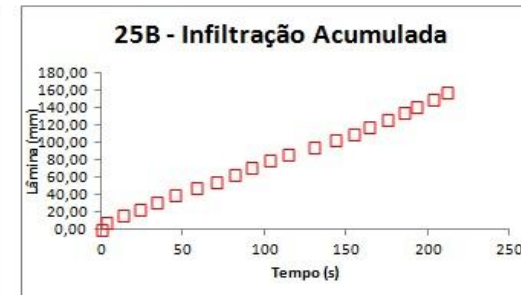
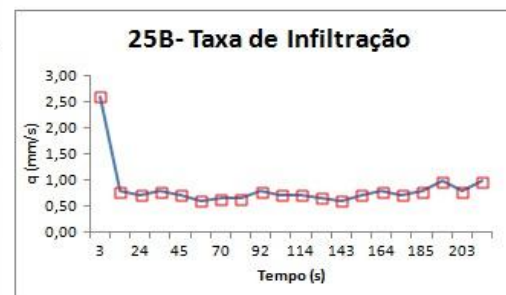


Figura 67- Dados de infiltração do ponto excluído 8 (25A e 25B)

Sítio	Raio (cm)		Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)	
17	9		150	254,469	5,8946275	
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	52	52	5,8946275	0,1134
2	0	3	56	236	11,789255	0,032
3	0	8	31	511	17,683883	0,0214
4	0	11	34	694	23,57851	0,0322
5	0	14	22	862	29,473138	0,0351
6	0	16	49	1009	35,367765	0,0401
7	0	19	7	1147	41,262393	0,0427
8	0	21	16	1276	47,15702	0,0457
9	0	23	30	1410	53,051648	0,044
10	0	25	32	1532	58,946275	0,0483
11	0	27	43	1663	64,840903	0,045
12	0	29	46	1786	70,73553	0,0479
13	0	31	50	1910	76,630158	0,0475
14	0	33	58	2038	82,524785	0,0461
15	0	35	57	2157	88,419413	0,0495
16	0	38	6	2286	94,31404	0,0457
17	0	40	7	2407	100,20867	0,0487
18	0	42	3	2523	106,1033	0,0508
19	0	44	5	2645	111,99792	0,0483
20	0	46	6	2766	117,89255	0,0487

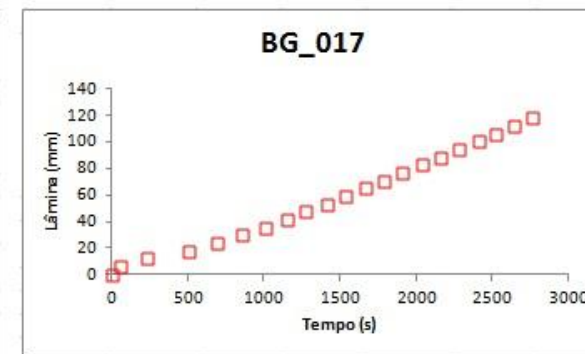
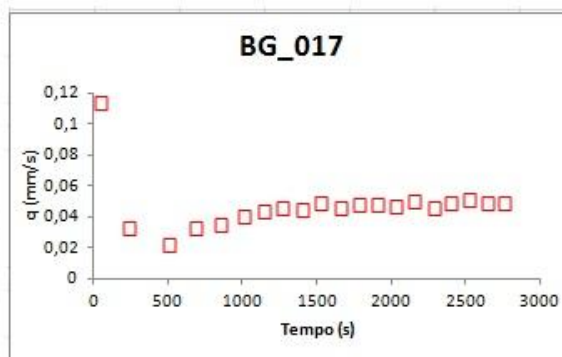


Figura 68- Dados de infiltração do ponto excluído 9 (0_17)

Sítio	Raio (cm)			Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
34	9			150	254,469005	5,89462752
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	15	15	5,89462752
2	0	0	0	56	56	11,789255
3	0	0	1	40	100	17,6838826
4	0	0	2	13	133	23,5785101
5	0	0	2	41	161	29,4731376
6	0	0	3	16	196	35,3677651
7	0	0	3	47	227	41,2623927
8	0	0	4	16	256	47,1570202
9	0	0	4	45	285	53,0516477
10	0	0	5	15	315	58,9462752
11	0	0	5	44	344	64,8409027
12	0	0	6	17	377	70,7355303
13	0	0	6	48	408	76,6301578
14	0	0	7	19	439	82,5247853
15	0	0	7	50	470	88,4194128

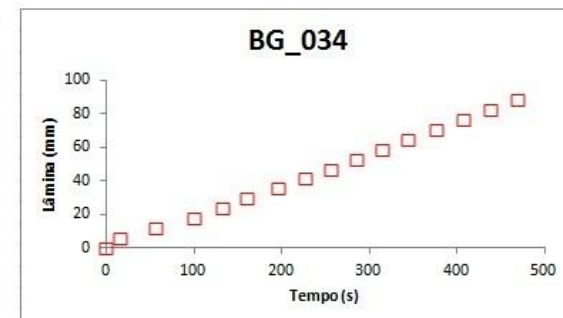
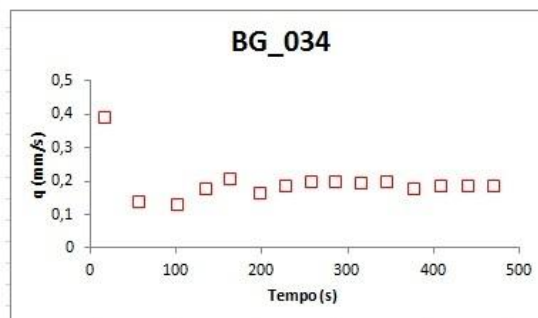


Figura 69- Dados de infiltração do ponto excluído 10 (0_34)

Sítio	Raio (cm)			Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
105	9			150	254,469	5,894627522
	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q(mm/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	47	47	5,894627522	0,12542
2	0	1	47	107	11,78925504	0,09824
3	0	2	52	172	17,68388257	0,09069
4	0	3	41	221	23,57851009	0,1203
5	0	4	27	267	29,47313761	0,12814
6	0	5	11	311	35,36776513	0,13397
7	0	5	48	348	41,26239265	0,15931
8	0	6	30	390	47,15702018	0,14035
9	0	7	9	429	53,0516477	0,15114
10	0	7	46	466	58,94627522	0,15931
11	0	8	20	500	64,84090274	0,17337
12	0	9	0	540	70,73553026	0,14737
13	0	9	37	577	76,63015778	0,15931
14	0	10	13	613	82,52478531	0,16374
15	0	10	55	655	88,41941283	0,14035

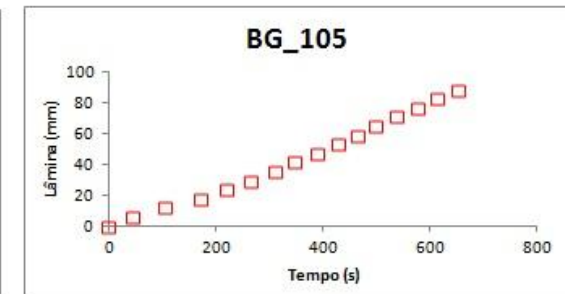
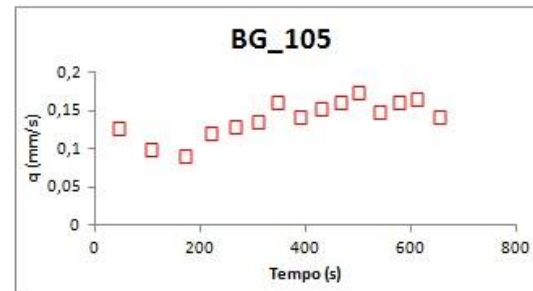
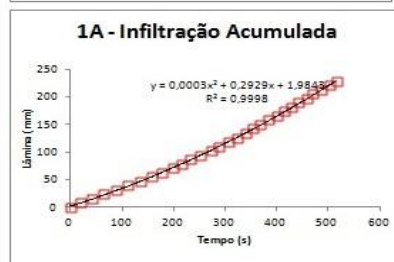


Figura 70- Dados de infiltração do ponto excluído 11 (0_105)

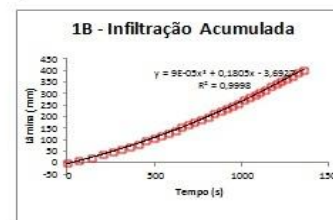
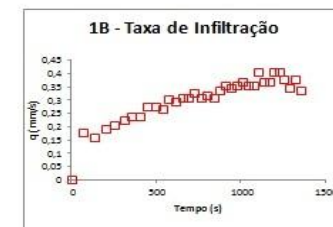
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
1A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	20	20	7,86	0,39
2	0	0	42	42	15,72	0,36
3	0	1	5	65	23,58	0,34
4	0	1	30	90	31,44	0,31
5	0	1	52	112	39,30	0,36
6	0	2	15	135	47,16	0,34
7	0	2	37	157	55,02	0,36
8	0	2	58	178	62,88	0,37
9	0	3	20	200	70,74	0,36
10	0	3	37	217	78,60	0,46
11	0	3	54	234	86,45	0,46
12	0	4	13	253	94,31	0,41
13	0	4	33	273	102,17	0,39
14	0	4	49	289	110,03	0,43
15	0	5	7	307	117,89	0,44
16	0	5	23	323	125,75	0,43
17	0	5	40	340	133,61	0,46
18	0	5	54	354	141,47	0,56
19	0	6	7	367	149,33	0,60
20	0	6	24	384	157,19	0,46
21	0	6	40	400	165,05	0,43
22	0	6	56	416	172,91	0,43
23	0	7	10	430	180,77	0,56
24	0	7	22	442	188,63	0,65
25	0	7	38	458	196,49	0,49
26	0	7	50	470	204,35	0,65
27	0	8	8	488	212,21	0,44
28	0	8	22	502	220,07	0,56
29	0	8	36	516	227,93	0,56



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
1B	9	300	254,469	11,789255

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	7	67	11,79	0,18
2	0	2	20	140	23,58	0,16
3	0	3	22	202	35,37	0,19
4	0	4	19	259	47,16	0,21
5	0	5	11	311	58,95	0,23
6	0	6	0	360	70,74	0,24
7	0	6	43	403	82,52	0,24
8	0	7	32	452	94,31	0,27
9	0	8	15	495	106,10	0,27
10	0	8	53	533	117,89	0,27
11	0	9	38	578	129,68	0,30
12	0	10	18	618	141,47	0,29
13	0	10	56	656	153,26	0,31
14	0	11	34	694	165,05	0,31
15	0	12	10	730	176,84	0,33
16	0	12	48	768	188,63	0,31
17	0	13	25	805	200,42	0,32
18	0	14	3	843	212,21	0,31
19	0	14	38	878	224,00	0,34
20	0	15	11	911	235,79	0,36
21	0	15	45	945	247,57	0,35
22	0	16	18	978	259,36	0,36
23	0	16	50	1010	271,15	0,37
24	0	17	25	1043	282,94	0,36
25	0	17	56	1076	294,73	0,36
26	0	18	25	1105	306,52	0,41
27	0	18	57	1137	318,31	0,37
28	0	19	29	1169	330,10	0,37
29	0	19	58	1198	341,89	0,41
30	0	20	27	1227	353,68	0,41
31	0	20	58	1258	365,47	0,38
32	0	21	32	1292	377,26	0,35
33	0	22	9	1323	389,05	0,38
34	0	22	38	1358	400,83	0,34



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
1A	9	300	254,469005	11,789255

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	37	37	11,79	0,32
2	0	1	5	65	23,58	0,42
3	0	1	31	91	35,37	0,45
4	0	1	56	116	47,16	0,47
5	0	2	17	137	58,95	0,56
6	0	2	42	162	70,74	0,47
7	0	3	2	182	82,52	0,59
8	0	3	26	206	94,31	0,49
9	0	3	50	230	106,10	0,49
10	0	4	12	252	117,89	0,54
11	0	4	35	275	129,68	0,51
12	0	4	58	298	141,47	0,51
13	0	5	20	320	153,26	0,54
14	0	5	44	344	165,05	0,49
15	0	6	8	368	176,84	0,49
16	0	6	32	392	188,63	0,49
17	0	6	55	415	200,42	0,51
18	0	7	18	438	212,21	0,51
19	0	7	41	461	224,00	0,51
20	0	8	2	482	235,79	0,56
21	0	8	26	506	247,57	0,49
22	0	8	51	531	259,36	0,47
23	0	9	12	552	271,15	0,56
24	0	9	34	574	282,94	0,54
25	0	9	56	596	294,73	0,54
26	0	10	17	617	306,52	0,56
27	0	10	41	641	318,31	0,49
28	0	11	4	664	330,10	0,51
29	0	11	25	685	341,89	0,56

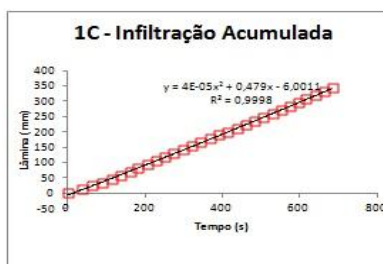
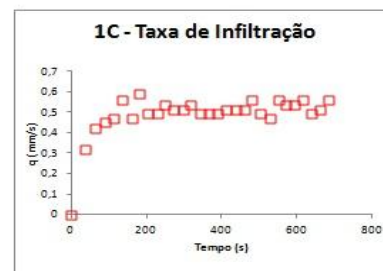
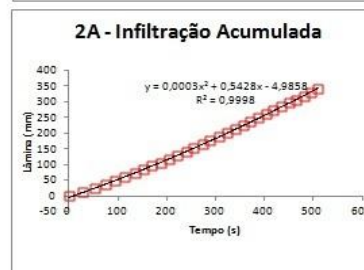


Figura 71- Dados de infiltração do ponto excluído 12 (1E)

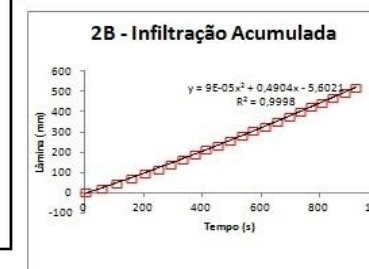
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
2A	9	300	254,469005	11,789295

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	28	11,79	0,42	
2	0	0	52	52	23,58	0,49
3	0	1	15	75	35,37	0,51
4	0	1	36	96	47,16	0,56
5	0	1	55	115	58,95	0,62
6	0	2	15	135	70,74	0,59
7	0	2	33	153	82,52	0,65
8	0	2	50	170	94,31	0,69
9	0	3	9	189	106,10	0,62
10	0	3	25	205	117,89	0,74
11	0	3	42	222	129,68	0,69
12	0	4	0	240	141,47	0,65
13	0	4	16	256	153,26	0,74
14	0	4	33	273	165,05	0,69
15	0	4	49	289	176,84	0,74
16	0	5	6	306	188,63	0,69
17	0	5	24	324	200,42	0,65
18	0	5	41	341	212,21	0,69
19	0	5	58	358	224,00	0,79
20	0	6	12	372	235,79	0,74
21	0	6	29	389	247,57	0,74
22	0	6	43	403	259,36	0,79
23	0	6	59	419	271,15	0,74
24	0	7	14	434	282,94	0,79
25	0	7	30	450	294,73	0,74
26	0	7	44	464	306,52	0,84
27	0	8	0	480	318,31	0,74
28	0	8	15	495	330,10	0,79
29	0	8	30	510	341,89	0,79



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
2B	9	800	254,469005	23,5785101

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	56	56	23,58	0,42
2	0	1	49	109	47,16	0,44
3	0	2	37	157	70,74	0,49
4	0	3	23	203	94,31	0,51
5	0	4	8	248	117,89	0,52
6	0	4	50	290	141,47	0,56
7	0	5	31	331	165,05	0,58
8	0	6	12	372	188,63	0,58
9	0	6	50	410	212,21	0,62
10	0	7	34	454	235,79	0,54
11	0	8	14	494	259,36	0,59
12	0	8	54	534	282,94	0,59
13	0	9	33	573	306,52	0,60
14	0	10	15	615	330,10	0,56
15	0	10	54	654	353,68	0,60
16	0	11	35	695	377,26	0,58
17	0	12	13	733	400,83	0,62
18	0	12	50	770	424,41	0,64
19	0	13	28	808	447,99	0,62
20	0	14	5	845	471,57	0,64
21	0	14	44	884	495,15	0,60
22	0	15	23	923	518,73	0,60



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
2C	9	600	254,469005	23,5785101

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg			
0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	11	71	23,58	0,33
2	0	2	122	122	47,16	0,46
3	0	2	46	166	70,74	0,54
4	0	3	27	207	94,31	0,58
5	0	4	5	245	117,89	0,62
6	0	4	41	281	141,47	0,65
7	0	5	17	317	165,05	0,65
8	0	5	49	349	188,63	0,74
9	0	6	24	384	212,21	0,67
10	0	6	56	416	235,79	0,74
11	0	7	31	451	259,36	0,67
12	0	8	4	484	282,94	0,71
13	0	8	40	520	306,52	0,65
14	0	9	16	556	330,10	0,65
15	0	9	50	590	353,68	0,69
16	0	10	26	626	377,26	0,65
17	0	11	2	662	400,83	0,65
18	0	11	34	694	424,41	0,74
19	0	12	0	720	447,99	0,91
20	0	12	36	756	471,57	0,65

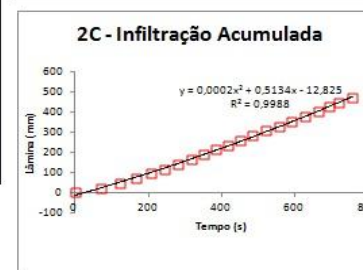
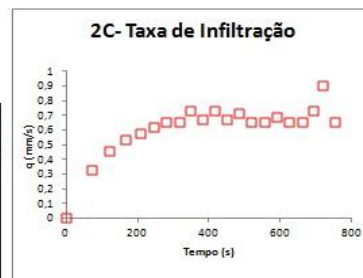
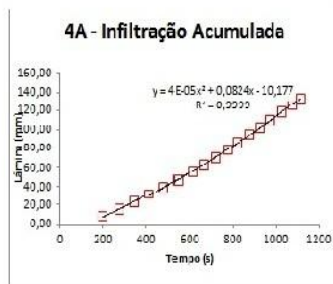
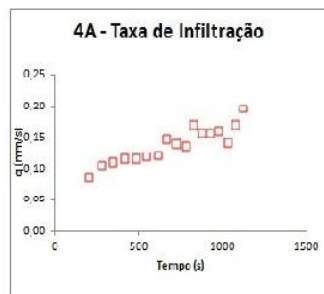


Figura 72- Dados de infiltração do ponto excluído 13 (2E)

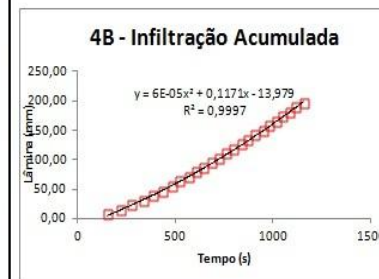
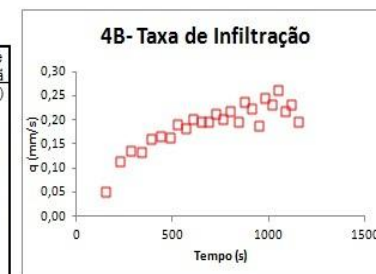
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
4A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	50	110	0	0
1	0	3	20	200	7,86	0,09
2	0	4	35	275	15,72	0,10
3	0	5	46	346	23,58	0,11
4	0	6	54	414	31,44	0,12
5	0	8	2	482	39,30	0,12
6	0	9	7	547	47,16	0,12
7	0	10	11	611	55,02	0,12
8	0	11	4	664	62,88	0,15
9	0	12	0	720	70,74	0,14
10	0	12	57	777	78,60	0,14
11	0	13	43	823	86,45	0,17
12	0	14	33	873	94,31	0,16
13	0	15	23	923	102,17	0,16
14	0	16	12	972	110,03	0,16
15	0	17	7	1027	117,89	0,14
16	0	17	53	1073	125,75	0,17
17	0	18	33	1113	133,61	0,20



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
4B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	40	0	0	0
1	0	2	55	155	7,86	0,05
2	0	4	4	224	15,72	0,11
3	0	5	2	282	23,58	0,14
4	0	6	1	341	31,44	0,13
5	0	6	50	390	39,30	0,16
6	0	7	37	437	47,16	0,17
7	0	8	25	485	55,02	0,16
8	0	9	6	526	62,88	0,19
9	0	9	49	569	70,74	0,18
10	0	10	28	608	78,60	0,20
11	0	11	8	648	86,45	0,20
12	0	11	48	688	94,31	0,20
13	0	12	25	725	102,17	0,21
14	0	13	4	764	110,03	0,20
15	0	13	40	800	117,89	0,22
16	0	14	20	840	125,75	0,20
17	0	14	53	873	133,61	0,24
18	0	15	28	908	141,47	0,22
19	0	16	10	950	149,33	0,19
20	0	16	42	982	157,19	0,25
21	0	17	16	1016	165,05	0,23
22	0	17	46	1046	172,91	0,26
23	0	18	22	1082	180,77	0,22
24	0	18	56	1116	188,63	0,23
25	0	19	36	1156	196,49	0,20



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
4C	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	5	22	0	0	0
1	0	7	0	205	7,86	0,04
2	0	8	20	285	15,72	0,10
3	0	9	40	365	23,58	0,10
4	0	10	48	433	31,44	0,12
5	0	11	58	503	39,30	0,11
6	0	12	57	562	47,16	0,13
7	0	13	55	620	55,02	0,14
8	0	14	51	676	62,88	0,14
9	0	15	47	732	70,74	0,14
10	0	16	42	787	78,60	0,14
11	0	17	32	837	86,45	0,16
12	0	18	25	890	94,31	0,15
13	0	19	13	938	102,17	0,16
14	0	20	0	985	110,03	0,17

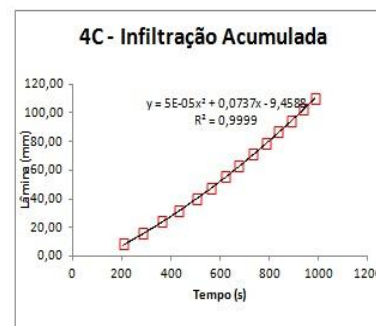
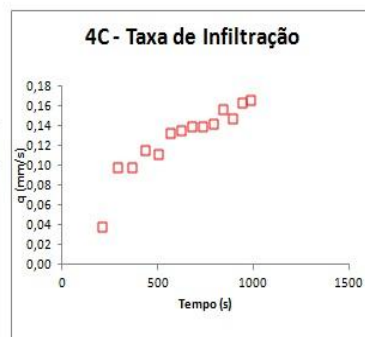
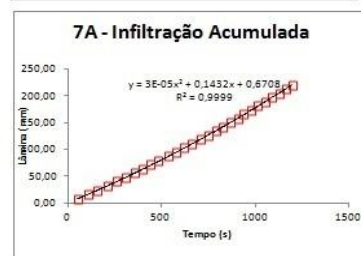


Figura 73- Dados de infiltração do ponto excluído 14 (4E)

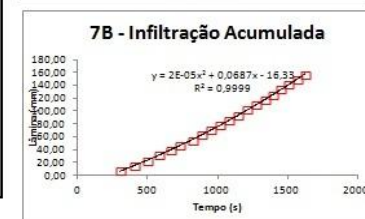
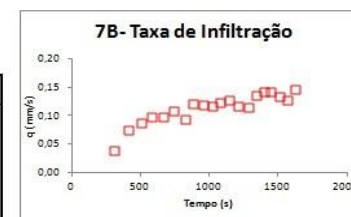
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
7A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
0	0	9	42	0	0	0
1	0	10	31	49	7,86	0,16
2	0	11	25	103	15,72	0,15
3	0	12	16	154	23,58	0,15
4	0	13	8	206	31,44	0,15
5	0	14	0	258	39,30	0,15
6	0	14	48	306	47,16	0,16
7	0	15	34	352	55,02	0,17
8	0	16	16	394	62,88	0,19
9	0	16	59	437	70,74	0,18
10	0	17	42	480	78,60	0,18
11	0	18	38	536	86,45	0,14
12	0	19	19	577	94,31	0,19
13	0	19	59	617	102,17	0,20
14	0	20	38	656	110,03	0,20
15	0	21	27	705	117,89	0,16
16	0	22	9	747	125,75	0,19
17	0	22	48	796	133,61	0,20
18	0	23	27	825	141,47	0,20
19	0	24	8	866	149,33	0,19
20	0	24	46	904	157,19	0,21
21	0	25	16	934	165,05	0,26
22	0	25	59	977	172,91	0,18
23	0	26	33	1011	180,77	0,23
24	0	27	12	1050	188,63	0,20
25	0	27	49	1087	196,49	0,21
26	0	28	28	1126	204,35	0,20
27	0	29	2	1160	212,21	0,23
28	0	29	36	1194	220,07	0,23



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
7B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
0	0	1	49	101	0	0
1	0	5	12	304	7,86	0,04
2	0	6	59	411	15,72	0,07
3	0	8	30	502	23,58	0,09
4	0	9	51	583	31,44	0,10
5	0	11	12	664	39,30	0,10
6	0	12	24	736	47,16	0,11
7	0	13	49	821	55,02	0,09
8	0	14	54	886	62,88	0,12
9	0	16	0	952	70,74	0,12
10	0	17	7	1019	78,60	0,12
11	0	18	11	1083	86,45	0,12
12	0	19	13	1145	94,31	0,13
13	0	20	20	1212	102,17	0,12
14	0	21	29	1281	110,03	0,11
15	0	22	27	1339	117,89	0,14
16	0	23	22	1394	125,75	0,14
17	0	24	17	1449	133,61	0,14
18	0	25	16	1508	141,47	0,13
19	0	26	18	1570	149,33	0,13
20	0	27	12	1624	157,19	0,15



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
7C	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
0	0	29	56	14	0	0
1	0	30	15	31	7,86	0,46
2	0	30	31	47	15,72	0,49
3	0	30	50	66	23,58	0,41
4	0	31	10	86	31,44	0,39
5	0	31	28	104	39,30	0,44
6	0	31	45	121	47,16	0,46
7	0	31	59	135	55,02	0,56
8	0	32	15	151	62,88	0,49
9	0	32	32	168	70,74	0,46
10	0	32	47	183	78,60	0,52
11	0	33	1	197	86,45	0,56
12	0	33	15	211	94,31	0,56
13	0	33	29	225	102,17	0,56
14	0	33	42	238	110,03	0,60
15	0	33	57	253	117,89	0,52
16	0	34	11	267	125,75	0,56
17	0	34	25	281	133,61	0,56
18	0	34	43	299	141,47	0,44
19	0	34	56	312	149,33	0,60
20	0	35	10	326	157,19	0,56
21	0	35	20	336	165,05	0,79
22	0	35	34	350	172,91	0,56
23	0	35	47	363	180,77	0,60
24	0	36	1	377	188,63	0,56
25	0	36	16	392	196,49	0,52
26	0	36	29	405	204,35	0,60
27	0	36	42	418	212,21	0,60
28	0	36	55	431	220,07	0,60
29	0	37	8	444	227,93	0,60
30	0	37	21	457	235,79	0,60
31	0	37	32	468	243,64	0,71

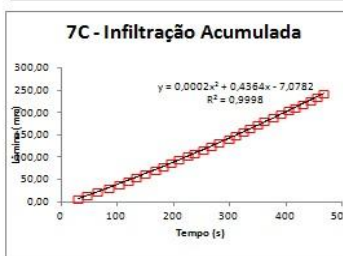
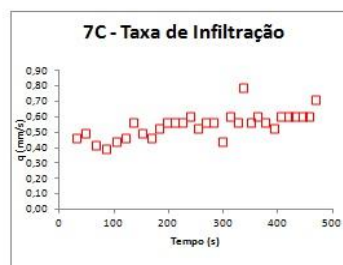
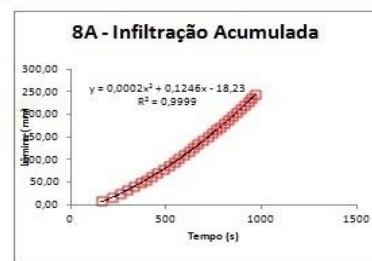
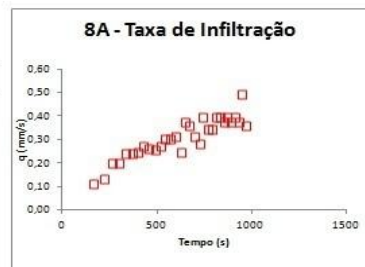


Figura 74- Dados de infiltração do ponto excluído 15 (7E)

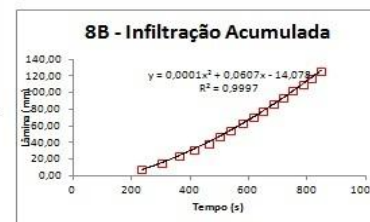
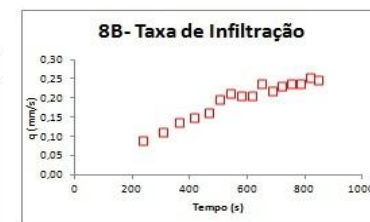
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
8A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	32	32	0	0
1	0	2	41	161	7,86	0,11
2	0	3	40	220	15,72	0,13
3	0	4	20	260	23,58	0,20
4	0	5	0	300	31,44	0,20
5	0	5	33	333	39,30	0,24
6	0	6	6	366	47,16	0,24
7	0	6	38	398	55,02	0,25
8	0	7	7	427	62,88	0,27
9	0	7	37	457	70,74	0,26
10	0	8	8	488	78,60	0,25
11	0	8	37	517	86,45	0,27
12	0	9	3	543	94,31	0,30
13	0	9	29	569	102,17	0,30
14	0	9	54	594	110,03	0,31
15	0	10	26	626	117,89	0,25
16	0	10	47	647	125,75	0,37
17	0	11	9	669	133,61	0,36
18	0	11	34	694	141,47	0,31
19	0	12	2	722	149,33	0,28
20	0	12	22	742	157,19	0,39
21	0	12	45	765	165,05	0,34
22	0	13	8	788	172,91	0,34
23	0	13	28	808	180,77	0,39
24	0	13	48	828	188,63	0,39
25	0	14	9	849	196,49	0,37
26	0	14	29	869	204,35	0,39
27	0	14	50	890	212,21	0,37
28	0	15	10	910	220,07	0,39
29	0	15	31	931	227,93	0,37
30	0	15	47	947	235,79	0,49
31	0	16	9	969	243,64	0,36



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
8B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	0	2	144	0	0
1	0	4	23	233	7,86	0,09
2	0	5	33	303	15,72	0,11
3	0	6	30	360	23,58	0,14
4	0	7	23	413	31,44	0,15
5	0	8	12	462	39,30	0,16
6	0	8	52	502	47,16	0,20
7	0	9	29	539	55,02	0,21
8	0	10	7	577	62,88	0,21
9	0	10	45	615	70,74	0,21
10	0	11	18	648	78,60	0,24
11	0	11	54	694	86,45	0,22
12	0	12	29	718	94,31	0,23
13	0	13	1	751	102,17	0,24
14	0	13	34	784	110,03	0,24
15	0	14	5	815	117,89	0,25
16	0	14	37	847	125,75	0,25



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
8C	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	3	43	193	0	0
1	0	5	52	322	7,86	0,06
2	0	7	54	444	15,72	0,06
3	0	9	50	560	23,58	0,07
4	0	11	46	676	31,44	0,07
5	0	13	44	794	39,30	0,07
6	0	15	24	894	47,16	0,08
7	0	17	10	1000	55,02	0,07
8	0	18	35	1095	62,88	0,09
9	0	19	40	1150	70,74	0,12
10	0	21	22	1252	78,60	0,08
11	0	22	48	1338	86,45	0,09

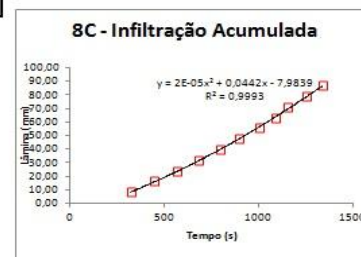
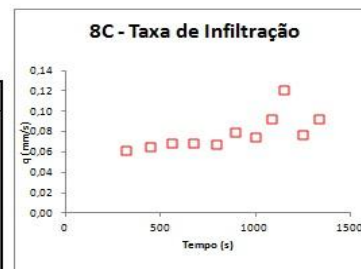
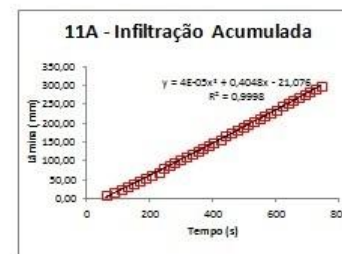
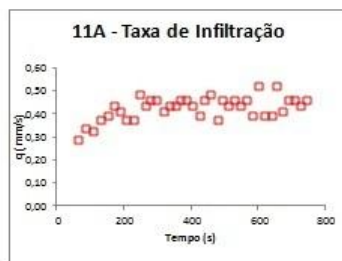


Figura 75- Dados de infiltração do ponto excluído 16 (8E)

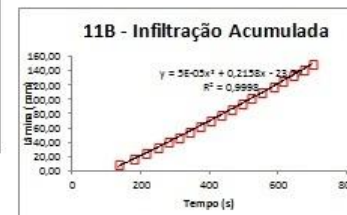
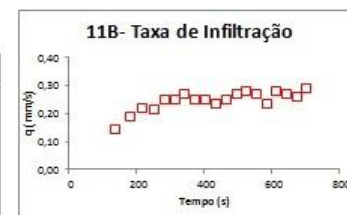
Sítio	Raio (cm)	Volum (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
11A	3	200	254,463	7,8535034

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/s)
0	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	35	35	0	0
1	0	1	2	62	7,86	0,23
2	0	1	25	85	15,72	0,34
3	0	1	49	109	23,58	0,33
4	0	2	10	130	31,44	0,37
5	0	2	30	150	39,30	0,39
6	0	2	48	168	47,16	0,44
7	0	3	7	187	55,02	0,41
8	0	3	28	208	62,88	0,37
9	0	3	49	229	70,74	0,37
10	0	4	5	245	78,60	0,43
11	0	4	23	263	86,45	0,44
12	0	4	40	280	94,31	0,46
13	0	4	57	297	102,17	0,46
14	0	5	16	316	110,03	0,41
15	0	5	34	334	117,89	0,44
16	0	5	52	352	125,75	0,46
17	0	6	3	363	133,61	0,46
18	0	6	26	386	141,47	0,45
19	0	6	44	404	149,33	0,44
20	0	7	4	424	157,19	0,39
21	0	7	21	441	165,05	0,46
22	0	7	37	457	172,91	0,43
23	0	7	58	478	180,77	0,37
24	0	8	15	495	188,63	0,46
25	0	8	33	513	196,49	0,44
26	0	8	50	530	204,35	0,46
27	0	9	8	548	212,21	0,44
28	0	9	25	565	220,07	0,46
29	0	9	45	585	227,93	0,39
30	0	10	0	600	235,79	0,52
31	0	10	20	620	243,64	0,39
32	0	10	40	640	251,50	0,39
33	0	10	55	655	259,36	0,52
34	0	11	14	674	267,22	0,41
35	0	11	31	691	275,08	0,46
36	0	11	48	708	282,94	0,46
37	0	12	6	726	290,80	0,44
38	0	12	23	743	298,66	0,46



Sítio	Raio (cm)	Volum (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
11B	3	200	254,463	7,8535034

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/s)
0	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	1	45	82	0	0
1	0	2	39	126	7,86	0,15
2	0	3	20	177	15,72	0,19
3	0	3	55	212	23,58	0,22
4	0	4	31	248	31,44	0,22
5	0	5	2	279	39,30	0,25
6	0	5	33	310	47,16	0,25
7	0	6	2	339	55,02	0,27
8	0	6	33	370	62,88	0,25
9	0	7	4	401	70,74	0,25
10	0	7	37	434	78,60	0,24
11	0	8	8	465	86,45	0,25
12	0	8	37	494	94,31	0,27
13	0	9	5	522	102,17	0,28
14	0	9	34	551	110,03	0,27
15	0	10	7	584	117,89	0,24
16	0	10	35	612	125,75	0,28
17	0	11	4	641	133,61	0,27
18	0	11	34	671	141,47	0,26
19	0	12	1	696	149,33	0,29



Sítio	Raio (cm)	Volum (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
11C	3	200	254,463	7,8535034

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina infiltrada (mm)	Taxa de Infiltração (mm/s)
0	h	min	seg	t(s)	l (mm)	q (mm/s)
0	0	0	17	17	0	0
1	0	0	36	36	7,86	0,41
2	0	0	53	53	15,72	0,46
3	0	1	10	70	23,58	0,46
4	0	1	27	87	31,44	0,46
5	0	1	42	102	39,30	0,52
6	0	1	59	119	47,16	0,46
7	0	2	12	132	55,02	0,60
8	0	2	28	148	62,88	0,49
9	0	2	42	162	70,74	0,56
10	0	3	0	180	78,60	0,44
11	0	3	14	194	86,45	0,56
12	0	3	29	209	94,31	0,52
13	0	3	44	224	102,17	0,52
14	0	3	55	235	110,03	0,71
15	0	4	8	248	117,89	0,60
16	0	4	20	260	125,75	0,65
17	0	4	34	274	133,61	0,56
18	0	4	43	283	141,47	0,52

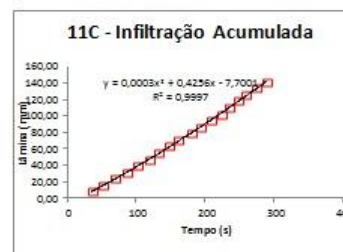
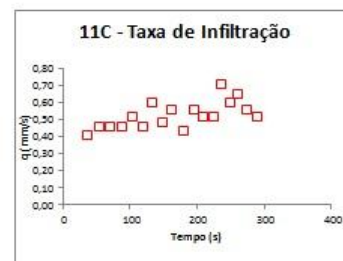
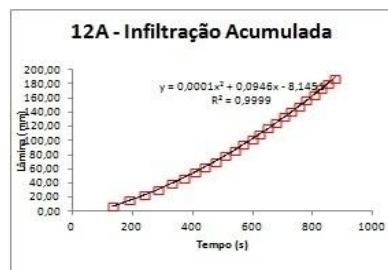
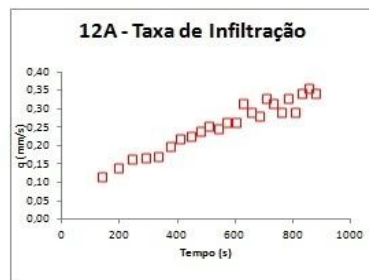


Figura 76- Dados de infiltração do ponto excluído 17 (11E)

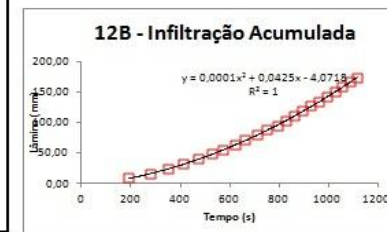
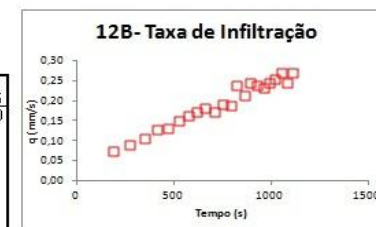
Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
12A	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	7	67	0	0
1	0	2	15	135	7,86	0,12
2	0	3	12	192	15,72	0,14
3	0	4	0	240	23,58	0,16
4	0	4	47	287	31,44	0,17
5	0	5	33	333	39,30	0,17
6	0	6	13	373	47,16	0,20
7	0	6	49	409	55,02	0,22
8	0	7	24	444	62,88	0,22
9	0	7	57	477	70,74	0,24
10	0	8	28	508	78,60	0,25
11	0	9	0	540	86,45	0,25
12	0	9	30	570	94,31	0,26
13	0	10	0	600	102,17	0,26
14	0	10	25	625	110,03	0,31
15	0	10	52	652	117,89	0,29
16	0	11	20	680	125,75	0,28
17	0	11	44	704	133,61	0,33
18	0	12	3	729	141,47	0,31
19	0	12	36	756	149,33	0,29
20	0	13	0	780	157,19	0,33
21	0	13	27	807	165,05	0,29
22	0	13	50	830	172,91	0,34
23	0	14	12	852	180,77	0,36
24	0	14	35	875	188,63	0,34



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
12B	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	37	82	0	0
1	0	3	25	190	7,86	0,07
2	0	4	52	277	15,72	0,09
3	0	6	6	351	23,58	0,11
4	0	7	8	413	31,44	0,13
5	0	8	8	473	39,30	0,13
6	0	9	1	526	47,16	0,15
7	0	9	49	574	55,02	0,16
8	0	10	35	620	62,88	0,17
9	0	11	18	663	70,74	0,18
10	0	12	4	709	78,60	0,17
11	0	12	45	750	86,45	0,19
12	0	13	27	792	94,31	0,19
13	0	14	0	825	102,17	0,24
14	0	14	37	862	110,03	0,21
15	0	15	9	894	117,89	0,25
16	0	15	42	927	125,75	0,24
17	0	16	16	961	133,61	0,23
18	0	16	48	993	141,47	0,25
19	0	17	19	1024	149,33	0,25
20	0	17	48	1053	157,19	0,27
21	0	18	20	1085	165,05	0,25
22	0	18	49	1114	172,91	0,27



Sítio	Raio (cm)	Volume (mL)	Área (cm²)	Lâmina (mm)
12C	9	200	254,469005	7,85950336

n° de repetições	tempo (hora, minuto, segundo)			tempo total (seg)	Lâmina Infiltrada l (mm)	Taxa de Infiltração q (mm/s)
	h	min	seg	t(s)		
0	0	1	3	36	0	0
1	0	1	29	62	7,86	0,30
2	0	1	50	83	15,72	0,37
3	0	2	13	106	23,58	0,34
4	0	2	33	126	31,44	0,39
5	0	2	49	142	39,30	0,49
6	0	3	5	158	47,16	0,49
7	0	3	19	172	55,02	0,56
8	0	3	34	187	62,88	0,52
9	0	3	50	203	70,74	0,49
10	0	4	4	217	78,60	0,56
11	0	4	19	232	86,45	0,52
12	0	4	33	246	94,31	0,56
13	0	4	48	261	102,17	0,52
14	0	5	2	275	110,03	0,56
15	0	5	16	289	117,89	0,56
16	0	5	30	303	125,75	0,56
17	0	5	43	316	133,61	0,60
18	0	5	56	329	141,47	0,60

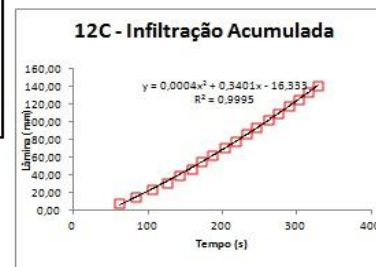
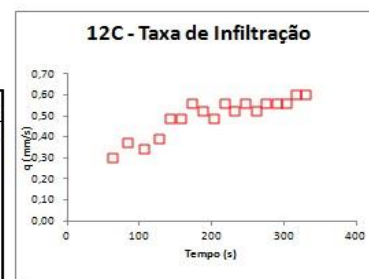


Figura 77- Dados de infiltração do ponto excluído 18 (12E)