

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO SOLO DA MICROBACIA TAMBAÍ

Celso Augusto G. Santos¹, Sofia Fernandes Lemos de Souza² & Rogério Antônio de Souto³

RESUMO --- O presente estudo foi desenvolvido na microbacia do Rio Tambaí, localizada no limite dos municípios de Bayeux e Santa Rita, estado da Paraíba, objetivando conhecer as características hidrodinâmicas do solo, analisando as propriedades físicas (porosidade, granulometria e massa específica) e variáveis hidráulicas do solo (condutividade hidráulica e capacidade de retenção de água). Tais conhecimentos auxiliam no entendimento dos processos de drenagem, conservação de água, recarga e contaminação do lençol freático, infiltração, escoamento superficial e produção de sedimentos, indispensável aos gestores, planejadores e responsáveis pela gestão de bacias hidrográficas. Metodologicamente o estudo utilizou o método Beerkan que se baseia em experimentos de campo e desponta por usar dados do solo prontamente disponíveis, usuais e de baixo custo, em contrapartida ao elevado custo de outros métodos. Os resultados obtidos variaram entre pontos, e mesmo entre as quadriculas de cada ponto, isso porque as propriedades hidráulicas do solo são afetadas por diversos fatores: ausência ou presença de plantas, diversidade da fauna, uso do solo, exposição do solo à ação direta da chuva, entre outros. Na região, foram contempladas áreas bem diferenciadas entre si, como plantação, área urbanizada, mata, entre outros, o que interfere nos resultados da modelagem hidrossedimentológica.

ABSTRACT --- The present study was carried out on the Tambaí River basin, located on the edge of the municipalities of Bayeux and Santa Rita, Paraíba State, aiming to study the hydrodynamic characteristics of the soil, analyzing the physical properties (porosity, particle size and density) and soil hydraulic variables (hydraulic conductivity and water-holding capacity). Such knowledge assists in the understanding of the processes of drainage, water conservation, recharge and groundwater contamination, infiltration, runoff and sediment yield, which are indispensable to planners and managers responsible for watershed management. Methodologically the study used the Beerkan method, which is based on field experiments and topping by using readily available soil data, usual and low cost, in contrast to the high cost of other methods. The results varied among the point locations, and even within grid cells of each point, this is because the soil hydraulic properties are affected by several factors: the absence or presence of plants, fauna diversity, land use, soil exposure to the direct action of rainfall, among others. In the region, it was considered well differentiated areas, such as planting, urbanized area, forest, among others, which interferes in the runoff-erosion modeling results.

Palavras-chave: BEERKAN, hidrodinâmica do solo, bacias hidrográficas.

¹ Professor Dr. Universidade Federal da Paraíba, 58051-900 João Pessoa (PB). Email: celso@ct.ufpb.br

² MSc. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. Email: soft_lemos@yahoo.com.br

³ Mestrando. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. Email: soutogeo@bol.com.br

INTRODUÇÃO

A caracterização hidrodinâmica de um solo é a descrição dos processos da dinâmica da água no solo. Para isso, são determinadas suas curvas de retenção de água e de condutividade hidráulica.

A determinação destas curvas hidráulicas características dos solos permite a compreensão da hidrologia da zona não saturada que forma ligação entre a superfície de água constituinte e da água subterrânea constituinte.

Segundo Lassabatère *et al.* (2006), vários métodos têm sido desenvolvidos para determinar estas curvas hidráulicas características, dos mais simples, que exigem apenas informações disponíveis, tais como a distribuição de tamanho das partículas e características físico-químicas ou medições de campo simples, aos mais sofisticados que exigem toda a determinação experimental da curva de retenção de água $\theta(h)$ e a condutividade hidráulica $K(\theta)$, utilizando aparelhos de laboratório.

O elevado custo na determinação das curvas levou alguns pesquisadores a utilizarem métodos indiretos que se baseiam em dados do solo prontamente disponíveis, usuais e de baixo custo, como a textura, massa específica, porosidade, entre outros (MINASNY *et al.*, 1999; MINASNY & MCBRATNEY, 2002). Nesse contexto, um método específico, denominado “Beerkan” (HAVERKAMP *et al.*, 1998 *apud* DE SOUZA *et al.*, 2008; SORIA UGALDE, 2003 *apud* DE SOUZA *et al.*, 2008; BRAUD *et al.*, 2005 *apud* DE SOUZA *et al.*, 2008; LASSABATÈRE *et al.*, 2006 *apud* DE SOUZA *et al.*, 2008) foi desenvolvido para facilitar a determinação da curva de retenção da água, $\theta(h)$, e a curva de condutividade hidráulica, $K(\theta)$, definidas por parâmetros de forma e de escala.

O método Beerkan se baseia em experimentos de campo. Métodos de campo parecem ser mais vantajosos na medida em que (i) eles são menos onerosos e demorados, (ii) o ganho em precisão no laboratório é limitado porque as amostras de solo geralmente fornecem uma pobre imagem real do solo, e (iii) os dispositivos de laboratório estão mal adaptados para revelar o comportamento hidráulico das bacias hidrográficas, em escala de campo (MINASNY & MCBRATNEY, 2002).

Sendo assim, o presente trabalho irá utilizar o modelo de van Genuchten (1980) para a determinação da curva de retenção de água, $\theta(h)$, e o modelo de Brooks & Corey (1964) para determinação da curva de condutividade hidráulica, $K(\theta)$, obtidos com o método Beerkan.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

A área de estudo é a microbacia do Rio Tambaí inserida na área limítrofe dos municípios Bayeux e Santa Rita, localizados na microrregião de João Pessoa e mesorregião da Mata Paraibana, compreendida como região Metropolitana de João Pessoa – Paraíba, inserida nas coordenadas (UTM): 284.000E, 9.210.000S e 287.000E, 9.213.000S, zona 25S e possui uma área de 461,41 ha. Limitando-se a leste com os bairros Alto da Boa Vista, Tambaí, Brasília e Jardim São Severino

(município de Bayeux); ao sul com o 16º Regimento de Cavalaria Mecanizada - RCMec e Aeroporto Castro Pinto; a oeste com o Distrito de Várzea Nova, neste com os Loteamentos Boa Vista e Alto do Contorno (município de Santa Rita) e ao norte com a bacia do rio Paroeira, um dos tributários do Estuário do rio Paraíba. (Figura 1).



Figura 1 – Localização geográfica e delimitação da área de estudo (imagem Google Earth).

Procedimentos

O método de infiltração Beerkan usa um anel anular simples que é posicionado na superfície do solo e inserido a uma profundidade de cerca de 1 cm para evitar a perda lateral da água despejada na superfície do solo.

Primeiramente, é feita uma limpeza rápida no local: a vegetação da superfície é removida, enquanto as raízes permanecem no local, e em seguida são coletadas duas amostras – uma para determinar a umidade inicial do solo e outra maior para a realização da análise granulométrica.

Feito isto, são adicionados volumes de 200 ml e marcados os tempos que esses volumes levam para infiltrar, até que se perceba a constância entre esses tempos de infiltração. Após o término do ensaio de infiltração, mais duas amostras são extraídas – uma de volume conhecido para determinação da densidade e outra para o cálculo da umidade final.

Cálculo dos parâmetros das curvas características

Neste trabalho, os pontos foram calculados através de um método específico (BEST), baseado no método Beerkan.

Para entender mais facilmente seu desenvolvimento de cálculo, foram feitas planilhas no Excel para explicitar o desenvolvimento e as equações utilizadas. Depois foi feita a comparação dos resultados obtidos pela planilha com os fornecidos pelo BEST, o que mostra a similaridade entre os dois, conforme será mostrado a seguir.

Campo

De campo, tem-se o peso das amostras com solo úmido (descontado o peso dos recipientes). Depois, no laboratório, as amostras são colocadas para secarem durante 24h na estufa a uma temperatura de 104°C,

obtendo-se o peso do solo seco. A partir desses valores são calculados os valores de umidade inicial e final do solo:

$$\text{Umidade} = \text{Peso de água} / \text{Peso seco}$$

$$\text{Peso de água} = \text{Peso úmido} - \text{Peso seco}$$

$$\text{Peso seco} = \text{Peso da lata mais solo seco} - \text{Peso da lata}$$

$$\text{Umidade inicial} = \theta_o = P_{a,\text{inicial}} / P_{s,\text{inicial}}$$

$$\text{Umidade final (saturado)} = \theta_s = P_{a,\text{final}} / P_{s,\text{final}}$$

	Lata	P.lata	Lata+úmido	Lata+seco	P.úmido (g)	P.seco (g)	P.água (g)
Umidade inicial	80	36,71	211,37	210,82	174,66	174,11	0,55
Umidade final	179	39,16	315,65	258,86	276,49	219,7	56,79
Densidade	131	39,73	217,78	179,73	178,05	140	38,05

$$\theta_o = 0,55 / 174,11 = 0,00316$$

$$\theta_s = 56,79 / 219,70 = 0,2585$$

Com a amostra do volume conhecido calcula-se a densidade:

$$\text{Densidade relativa} = \gamma / \gamma_a$$

$$\gamma = \text{Peso específico} = \text{Peso} / \text{Volume}$$

$$\text{“Bulk density” (densidade aparente)} = P_t / V_t / \gamma_a$$

$$\text{“Mineral density” (densidade real)} = P_s / V_s / \gamma_a$$

Peso úmido (g)	178,05
Peso seco (g)	140,00
Peso de água (g)	38,05
γ_a (kg/m ³)	996
V. total (mm ³)	95906,5405
V. água (mm ³)	38202,81123
V. seco (mm ³)	57703,7293

$$\text{“Bulk density”} = [(178,05 / 95906,5405) \times 1000000] / (996) = 1,8640$$

$$\text{“Mineral density”} = [(140,00 / 57703,7293) \times 1000000] / (996) = 2,4359$$

Granulometria

As análises granulométricas foram feitas baseadas na NBR 7181/84.

Primeiramente pesa-se todo o material. Em seguida peneira-o na peneira n. 10. Após esse peneiramento, são retiradas três parcelas: uma de 100 g e outra de 50 g do que passou na peneira n. 10, e a terceira correspondente ao que ficou retido na peneira.

- As 50 g retiradas do que passou na peneira n. 10 são secadas na estufa e pesadas posteriormente para a determinação do teor de umidade, e então é calculado o peso da amostra total seca:

$$\text{Teor de umidade} = W = (\text{Peso de água} / \text{Peso seco})$$

$$\text{Fator de correção} = 100 / (100 + W)$$

Amostra total seca = Amostra total úmida $\times$ Fator de correção

Determinação do Teor de Umidade		
Cápsula	Nº	20
Cápsula + solo úmido	g	66,990
Cápsula + solo seco	g	66,910
Tara da cápsula	g	16,950
Teor de umidade	W(%)	0,16
Fator de correção	FC	0,9984
Amostra total úmida	Atw	1500,00
Amostra total seca	Ats	1497,61

$$W(\%) = [(66,99 - 66,91) / (66,91 - 16,95)] \times 100 = 0,16$$

$$\text{Fator de correção} = 100 / 100,16 = 0,9984$$

$$\text{Amostra total seca} = 1500 \times 0,9984 = 1497,61\text{g}$$

- Curva granulométrica (Figura 02):

(Diâmetro das partículas (esc log) = Abertura da peneira)

$\times$

(% que passa da amostra total)

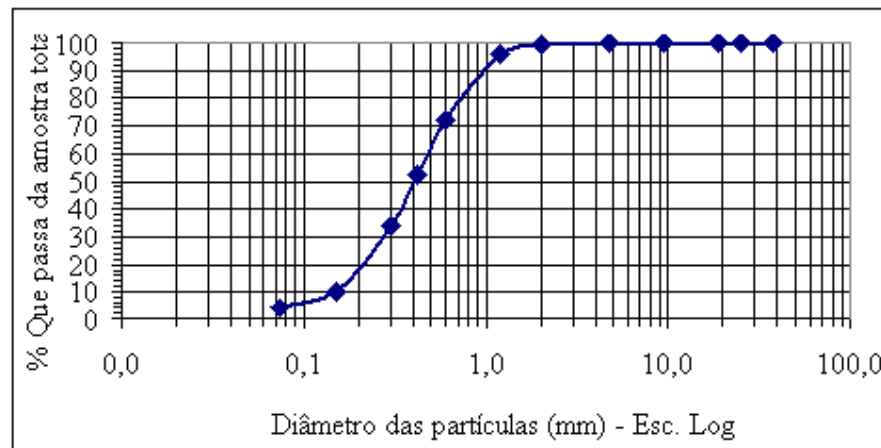


Figura 02: Curva granulométrica.

Estimativa dos parâmetros de forma (m , n , η)

1- Primeiro estima-se M, N, Dg :

Para cada diâmetro calcula-se, determina-se o erro entre $F(D)$ e $F(D)_{exp}$, e somam-se esses erros, num erro total. Depois aplica-se a ferramenta *solver* do Excel para que a célula do erro total atinja o valor mínimo de zero variando M e Dg .

N	3,51197
Dg	0,60868
M	0,43052

O ajuste entre $F(D)$ e $F(D)_{exp}$ segue na Figura 03 abaixo:

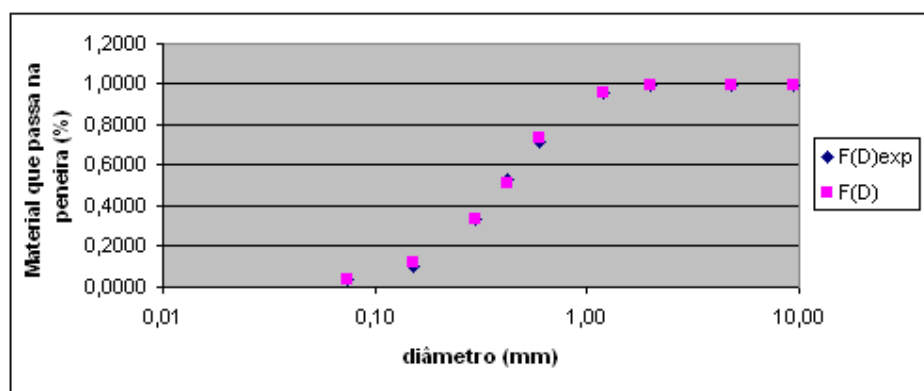


Figura 03: Ajuste da curva granulométrica calculada à experimental.

2- Calcula-se P_M :

$$P_M = MN / (1 + M) = 1,0569$$

3- Determina-se a porosidade, ϵ , pela equação,

$$\epsilon = 1 - (\text{densidade aparente})/(\text{densidade real}) = 0,2348$$

4- Estima-se a fração dimensional média, s , através da equação abaixo, usando a ferramenta “atingir meta” do Excel, variando s para que a equação atinja o valor 1:

$$(1 - \epsilon)^s + \epsilon^{2s} = 1$$

$$s = 0,6387$$

5- Calcula-se o coeficiente κ

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

$$\kappa = 0,6009$$

6- Calcula-se o índice de forma (p_m) da média

$$p_m = P_M(1 + \kappa)^{-1}$$

$$P_m = 0,6602$$

7- Determinação dos parâmetros de forma m, n e η

$$m = \frac{1}{p_m}(\sqrt{1 + p_m^2} - 1) \quad n = \frac{2}{1 - m} \quad \eta = \frac{2}{\lambda} + 2 + p$$

onde κ é o produto de $m \times n$, e p é um parâmetro de tortuosidade que depende do modelo capilar, ou seja, zero ou 1,33. A priori, a tortuosidade p deve depender do tipo de solo. Na falta de informações, decidimos usar a condição de Burdine da mesma maneira como para a curva de retenção de água, onde $p = 1$.

Resultado	
m	0,3003
n	2,8585
η	5,3296

BEST	
m	0,3003
n	2,8585
η	5,3296

Estimativa dos parâmetros de escala

Os parâmetros de escala são calculados pelos experimentos de infiltração a partir da taxa de infiltração no estado estacionário e a partir da estimativa prévia da sorvidade (S).

1º Passo: São calculados t^* e $q(t^*)$ para todos os pontos de dados (K_{tot}).

$$t_i^* = \left(\frac{\sqrt{t_i} + \sqrt{t_{i+1}}}{2} \right)^2 \quad (i = 1..N_{tot} - 1)$$

$$q^{exp}(t_i^*) = \frac{I_{i+1} - I_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (i = 1..N_{tot} - 1)$$

2º Passo: Calcula-se A , B e c_p .

As constantes A e B foram definidas para a relação Brooks e Corey (Equação para a curva de retenção de água que será apresentada mais a frente), e tendo em conta as condições iniciais como (HAVERKAMP et al., 1994), através das equações:

$$A = \frac{\gamma}{r_d(\theta_s - \theta_0)}$$

$$B = \frac{(2 - \beta)}{3} \left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right] + \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta$$

onde β é uma constante no intervalo ($0 < \beta < 1$), cujo valor é 0,6 (HAVERKAMP et al., 1994) e γ é uma constante teórica, cujo valor é igual a 0,75 (SMETTEM et al., 1994).

$$c_p = \Gamma \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left\{ \frac{\Gamma \left(m\eta - \frac{1}{n} \right)}{\Gamma(m\eta)} + \frac{\Gamma \left(m\eta + m - \frac{1}{n} \right)}{\Gamma(m\eta + m)} \right\} \quad \text{onde } \square(x) = e^{\text{Lngama}(x)}.$$

3º Passo: Estimativa da taxa de infiltração de estado estacionário $q_{+\infty}$.

A taxa de infiltração no estado estacionário ocorre quando o gráfico $q \times t$ (Figura 04) tende a uma reta horizontal, ou seja, a taxa de infiltração tende a ficar constante no valor $q_{+\infty}$ ao decorrer do experimento de infiltração.

$q_{+\infty}$ é o menor valor entre $q_{+\infty, \text{mean}}$ e $q_{+\infty, \text{slope}}$.

$q_{+\infty, \text{mean}}$ é a média dos três últimos valores calculados de $q(t^*)$.

$q_{+\infty, \text{slope}}$ é a inclinação (t_i, I_i) para os quatro últimos pontos.

$$q_{+\infty} = 0,3748$$

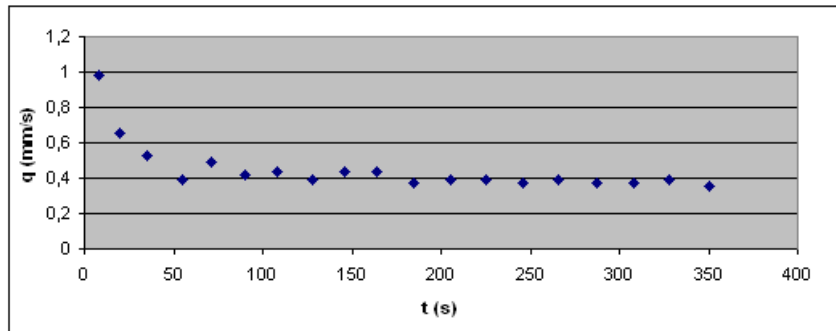


Figura 04: Taxa de infiltração no tempo.

4º Passo: Estimativa da sorvidade S .

-1ª Estimativa (S_1)

$$S_1 = \sqrt{\frac{q_{+\infty}^{\text{exp}}}{A}}$$

$$S_1 = 3,3889$$

As demais estimativas calculam infiltração para cada k , $I(t)$, e comparam com os valores de infiltração experimental, $I_{\text{exp}}(t)$, conhecido através dos volumes de água adicionados (200 ml) e o raio do anel (90 mm), afim de obter o menor erro entre eles.

$$I \text{ (mm)} = \text{volume adicionado} / \text{área do anel}$$

-2ª Estimativa (Ss_3)

Calcula-se Inf3D_3step para todos os t_k .

$$\text{Inf3D_3step} = Ss3 \sqrt{t} + ASs3^2 t$$

- Ss_3 para $K = 1$: Varia $Ss3_1$ de forma que a diferença entre Inf3D_3step,1 e $I_{\text{exp},1}$ seja a menor possível usando a ferramenta *solver* do Excel.

$$\text{Inf3D_3step}_1 = Ss3_1 \sqrt{t_1} + ASs3_1^2 t_1$$

- Ss_3 para $K = 2$: Varia $Ss3_2$ de forma que a diferença entre Inf3D_3step,k e $I_{\text{exp},k}$ seja a menor possível.

$$\text{Inf3D_3step}_1 = Ss3_2 \sqrt{t_1} + ASs3_2^2 t_1$$

$$\text{Inf3D_3step}_2 = Ss3_2 \sqrt{t_2} + ASs3_2^2 t_2$$

- Ss_3 para $K = 3$: Varia $Ss3^3$ de forma que a diferença entre Inf3D_3step,k e $I_{\text{exp},k}$ seja a menor possível.

$$\text{Inf3D_3step}_1 = Ss3_3 \sqrt{t_1} + ASs3_3^2 t_1$$

$$\text{Inf3D_3step}_2 = Ss3_3 \sqrt{t_2} + ASs3_3^2 t_2$$

$$\text{Inf3D_3step}_3 = Ss3_3 \sqrt{t_3} + ASs3_3^2 t_3$$

E assim por diante até K_{tot} .

-3ª Estimativa ($S3$)

$$S3k = \min(S1, Ss3k)$$

-4ª Estimativa ($Ss4$)

A forma de estimar $Ss4$ é a mesma que a do $Ss3$, sendo:

$$\text{Inf4D_4step} = Ss4 \sqrt{t} + [A(1 - B)Ss4^2 + Bq_{+\infty}]t$$

-5ª Estimativa ($S4$) – Sorvidade final

$$S4k = \min(S3, Ss4k)$$

$$Sk = S4k$$

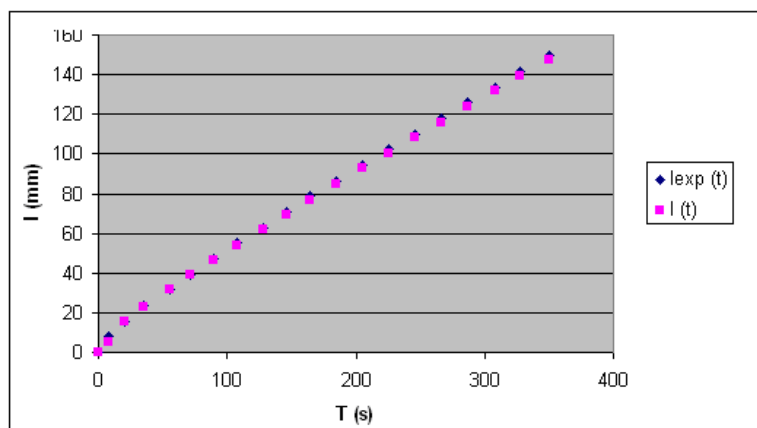


Figura 05: Ajuste da infiltração calculada à experimental.

- 5º Passo: Cálculo de K_s para cada K .

$$K_s = q_{+\infty} + AS^2$$

- 6º Passo: Cálculo de $t_{\max}$ para cada K .

$$t_{\max} = \frac{1}{4(1-B)^2} t_{\text{grav}}, \quad \text{onde} \quad t_{\text{grav}} = \left(\frac{S}{K_s} \right)^2$$

- 7º Passo: Determinação dos K_v válidos:

Se $t_k < t_{\max} \rightarrow K$ é válido

- 8º Passo: Escolha do K_s .

O K_s adotado será o K_s do maior K_v válido $\rightarrow K_{\text{step}} = 10$

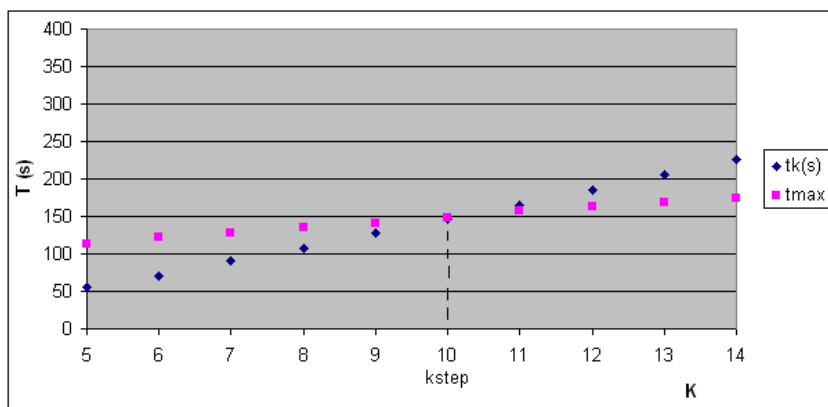


Figura 06: Determinação do Kstep.

- 9º Passo: Cálculo de h_g

O cálculo da pressão de cabeça é feito através da equação.

$$h_g = - \frac{S^2}{c_p(\theta_s - \theta_0) \left[1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s} \right)^\eta \right] K_s}$$

Resultado		BEST	
Kstep	10	Kstep	10
S	2,4069	S	2,4069
K _s	0,1858	K _s	0,1858
hg	- 70,7227	hg	- 70,7196

Curva de retenção de água

A curva de retenção de água foi feita pela relação de van Genuchten. Normalmente, θ_r é muito baixo e, portanto, é considerado igual a zero. Estas relações foram comprovadas, precisas e relevantes para descrever o comportamento hidráulico da maioria dos solos.

Varia-se h (ou seja, arbitram-se valores de profundidade) e acha-se θ . A curva obtida é mostrada na Figura 07.

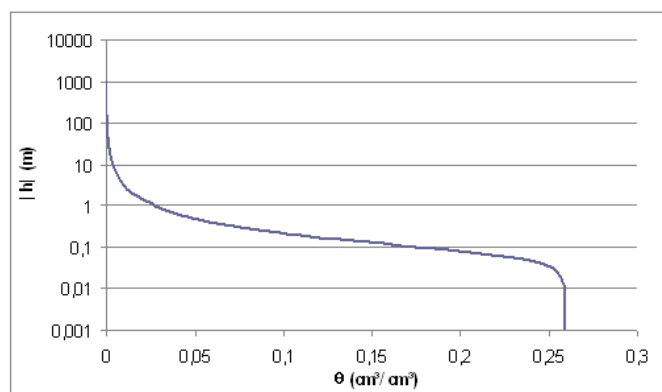


Figura 07: Curva de retenção de água.

Gráfico da condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica foi feita pela relação de Brooks e Corey. A curva obtida é mostrada na Figura 08 abaixo:

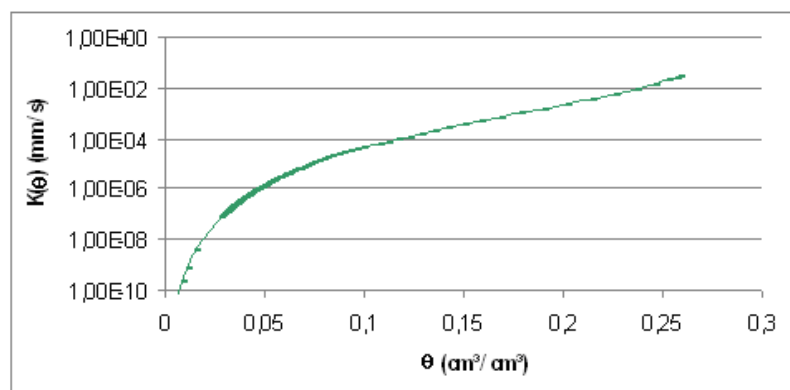


Figura 08: Curva de condutividade hidráulica.

DADOS DE ENTRADA NO PROGRAMA BEST

São fornecidos ao BEST os seguintes itens: Dcum, Iexp_t e InputBESTw.

Dcum: Granulometria: Peneira (mm) × Porcentagem que passa da amostra total

Iexp_t: Conjunto dos dados de infiltração: Iexp (mm) × tempo (s)

InputBESTw: “Bulk density” (densidade aparente)

“Mineral density” (densidade real)

θ_o (umidade inicial)

θ_s (umidade final)

Diâmetro do anel (mm) – No caso, D = 90 mm

ESCOLHA DO K_s

Realizado o processamento dos dados, uma escolha posterior é necessária para determinação dos valores apropriados, que são aqueles que proporcionam uma modelagem acurada de dados, de acordo com critérios básicos relacionados com a física da infiltração de água nos solos.

Foram analisados os resultados dos três experimentos realizados para cada ponto da seguinte maneira:

1º Primeiramente foram observados os gráficos e resultados de maneira geral. Depois, estando tudo de acordo com o esperado, foram escolhidos os dois valores de K_s mais próximos entre os três, baseado no cálculo do desvio padrão entre esses dois valores. Se o desvio foi menor do que 0,1, o valor adotado para K_s e os demais parâmetros foi a média entre estes dois valores.

2º Nos casos em que um dos experimentos apresentou resultados não esperados, ou seja, em desacordo com princípios físicos, o K_s adotado foi a média dos outros dois experimentos, estando eles coerentes.

3º No caso de dois dos experimentos terem dado problema, como resultados estranhos e erro no programa BEST, e o terceiro experimento ter tido sucesso, foi considerado o valor dado por ele para o K_s .

Os valores de K_s selecionados e o cálculo do desvio padrão segue abaixo na Tabela 01.

Tabela 01: Valores de K_s selecionados.

PONTO	K_s (mm/s)	Selecionados	Média	Desvio padrão	Situação
1	01.1	0,3788	0,29060	0,0882	OK
	01.2	0,2024			
	01.3	0,3289			
6	06.1	0,0455	0,12475	0,0026	OK
	06.2	0,1222			
	06.3	0,1273			
9	09.1	0,0065	0,00875	0,0023	OK
	09.2	0,0110			
	09.3	0,0297			
10	10.1	0,0508	0,05370	0,0029	OK
	10.2	0,0751			
	10.3	0,0566			
11	11.1	0,0181	0,01960	0,0015	OK
	11.2	0,0211			
	11.3	Erro Best			
14	14.1	0,0421	0,05705	0,0150	OK
	14.2	0,0100			
	14.3	0,0720			
25	25.1	0,0081	0,00650	0,0016	OK
	25.2	0,0184			
	25.3	0,0049			
29	29.1	Erro Best	-	-	X
	29.2	0,2461			
	29.3	Erro Best			

Continuação tabela 01.						
PONTO		K _s (mm/s)	Selecionados	Média	Desvio padrão	Situação
34	34-1	0,0375		0,05300	0,0155	OK
	34-2	0,0685	0,0375			
	34-3	0,1019	0,0685			
37	37-1	0,0807		0,12150	0,0408	OK
	37-2	Erro Best	0,0807			
	37-3	0,1623	0,1623			
43	43-1	0,0521		0,02440	0,0037	OK
	43-2	0,0281	0,0281			
	43-3	0,0207	0,0207			
44	44-1	0,0588		0,06495	0,0062	OK
	44-2	Erro Best	0,0588			
	44-3	0,0711	0,0711			
46	46-1	0,1934		0,23750	0,0441	OK
	46-2	0,2816	0,1934			
	-	-	0,2816			
47	47-1	0,2048		0,24015	0,0354	OK
	47-2	0,2755	0,2048			
	47-3	0,0331	0,2755			
48	48-1	0,1700		0,17515	0,0051	OK
	48-2	0,1086	0,1700			
	48-3	0,1803	0,1803			
49	49-1	0,2307		0,24665	0,0160	OK
	49-2	0,3240	0,2307			
	49-3	0,2626	0,2626			
50	50-1	0,0087		0,01165	0,0008	OK
	50-2	0,0109	0,0109			
	50-3	0,0124	0,0124			
52	52-1	0,0060		0,00370	0,0023	OK
	52-2	0,0109	0,0060			
	52-3	0,0014	0,0014			
54	54-1	Erro Best	REJEITADO	-	-	X
	54-2	Erro Best				
	54-3	0,1264				
55	55-1	0,0030		0,01555	0,0028	OK
	55-2	0,0128	0,0128			
	55-3	0,0183	0,0183			
56	56-1	0,0775		0,07350	0,0040	OK
	56-2	0,0695	0,0775			
	56-3	0,1404	0,0695			
57	57-1	0,2497		0,07335	0,0113	OK
	57-2	0,0846	0,0846			
	57-3	0,0621	0,0621			
58	58-1	0,2050	REJEITADO	-	-	X
	58-2	Erro Best				
	58-3	Erro Best				
59	59-1	0,3310	REJEITADO	-	-	X
	59-2	0,0001				
	59-3	0,3779				
60	60-1	0,0180		0,01660	0,0014	OK
	60-2	0,0130	0,0180			
	60-3	0,0152	0,0152			
61	61-1	0,1388		0,08105	0,0044	OK
	61-2	0,0854	0,0854			
	61-3	0,0767	0,0767			
62	62-1	0,1858		0,19035	0,0046	OK
	62-2	0,1440	0,1858			
	62-3	0,1949	0,1949			
63	63-1	0,1645		0,15935	0,0052	OK
	63-2	0,2454	0,1645			
	63-3	0,1542	0,1542			

Continuação tabela 01.						
PONTO		K _s (mm/s)	Selecionados	Média	Desvio padrão	Situação
76	76-1	0,1464		0,12395	0,0225	OK
	76-2	0,0520	0,1464			
	76-3	0,1015	0,1015			
79	79-1	Erro Best	REJEITADO	-	-	X
	79-2	0,0672				
	79-3	Erro Best				
80	80-1	Erro Best		0,04000	0,0331	OK
	80-2	0,0731	0,0731			
	80-3	0,0069	0,0069			
81	81-1	Erro Best		0,12995	0,1272	X
	81-2	0,2571	0,25710			
	81-3	0,0028	0,0028			
88	88-1	0,0424		0,08255	0,0402	OK
	88-2	0,2313	0,0424			
	88-3	0,1227	0,1227			
89	89-1	Erro Best	0,0676	-	-	OK
	89-2	0,0283				
	89-3	0,0676				
92	92-1	0,0283	0,0283	0,01415	0,0142	OK
	92-2	Erro Best				
	92-3	Erro Best				
93	93-1	0,0177		0,02200	0,0043	OK
	93-2	0,0263	0,0177			
	93-3	0,0356	0,0263			
95	95-1	0,0344		0,02905	0,0054	OK
	95-2	0,0237	0,0344			
	95-3	-	0,0237			
99	99-1	Erro Best		0,02850	0,0213	OK
	99-2	0,0498	0,0498			
	99-3	0,0072	0,0072			
100	100-1	0,0431		0,06775	0,0247	OK
	100-2	0,0924	0,0431			
	100-3	Erro Best	0,0924			
101	101-1	0,0124		0,01595	0,0036	OK
	101-2	0,0343	0,0124			
	101-3	0,0195	0,0195			
104	104-1	0,0912		0,07120	0,0200	OK
	104-2	0,0512	0,0912			
	104-3	-	0,0512			
107	107-1	0,0674		0,07030	0,0029	OK
	107-2	Erro Best	0,0674			
	107-3	0,0732	0,0732			
108	108-1	0,1508		0,04115	0,0297	OK
	108-2	0,0708	0,0708			
	108-3	0,0115	0,0115			
109	109-1	0,1351		0,29930	0,1642	X
	109-2	0,4635	0,4635			
	109-3	0,3665	0,1351			
116	116-1	0,0914		0,12440	0,0330	OK
	116-2	0,1574	0,0914			
	116-3	0,0075	0,1574			

Os pontos 29, 54, 58, 59, 79, 81, 109 foram desconsiderados. Os pontos 81 e 109 foram rejeitados por apresentarem desvio padrão acima do estipulado e o restante foi eliminado por apresentar gráficos estranhos, em desacordo com o esperado e, portanto, em desacordo com os princípios físicos.

Os pontos 12, 13, 17, 22, 23, 26, 27, 28, 51, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 94, 96, 97, 98, 102, 106, 111, 112 e 118 não foram calculados pois são pontos impermeáveis – localizados em áreas urbanizadas.

Em outros pontos também não foram realizados os ensaios: pontos 2, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 30, 31, 33, 45, 70, 71 (área alagada); 113, 114 e 115 (área de plantio de abacaxi); 39, 40, 41, 42 e 53 (interior de mata); e 117 (local com deposição irregular de lixo).

RESUMO	
Pontos totais	118
Pontos onde foram realizados ensaios	46
Pontos alagados	14
Pontos impermeáveis	38
Pontos que não serão realizados	9
Pontos que faltam	11
Pontos com defeito	29,54,58,59,79,81,92

Observação: Alguns dos pontos estão em áreas pertencentes ao exército, carecendo de autorização para realização dos ensaios. Alguns desses pontos foram executados, porém o restante em área militar não serão feitos pois estão em áreas restritas de treinamento do exército. Com isso, os procedimentos de campo para levantamento de dados foi encerrado.

A Figura 09 apresenta a espacialização dos pontos de coleta na microbacia do rio Tambaí, os quais foram utilizados para a espacialização dos parâmetros d_{50} (Figura 10) e K_s (Figura 11). A Figura 12 apresenta a drenagem da microbacia do rio Tambaí e divisões das sub-bacias para uso na modelagem hidrossedimentológica, e a Figura 13 tem a discretização da bacia em planos e canais seguindo a drenagem obtida, cujos valores estão na Tabela abaixo.

#	Área (m²)	Largura (m)	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Elemento		
					Superior	Esquerda	Direita
1	923070	1735	532	0,037	-	-	-
2	558037	1735	322	0,032	-	-	-
3	-	-	1735	0,020	-	1	2
4	1502054	1746	860	0,048	-	-	-
5	503903	1746	289	0,071	-	-	-
6	-	-	1746	0,012	3	5	4
7	153345	474	324	0,076	-	-	-
8	344938	474	728	0,038	-	-	-
9	-	-	474	0,038	-	7	8
10	291501	1036	281	0,032	-	-	-
11	337231	1036	326	0,037	-	-	-
12	-	-	1036	0,001	6,9	11	10

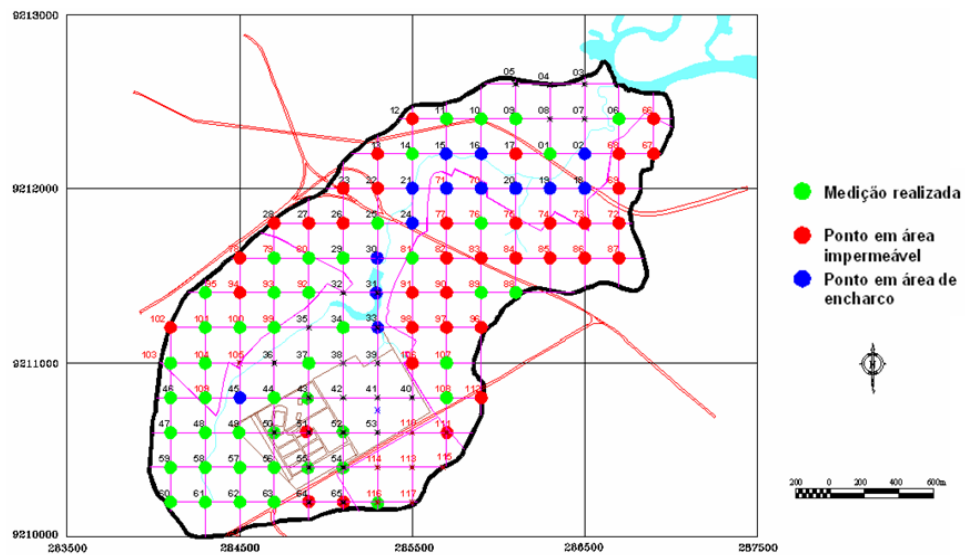


Figura 09: Espacialização dos pontos.

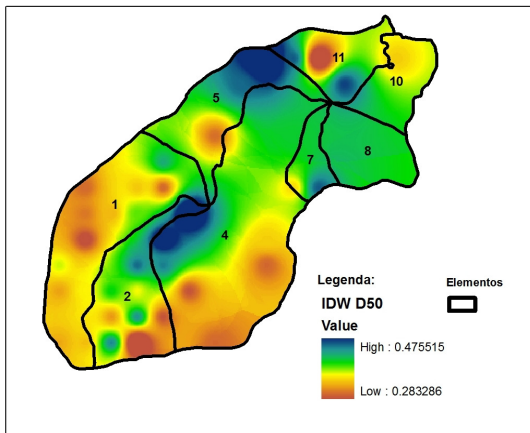


Figura 10: Espacialização (interpolação) dos diâmetros médios dos sedimentos (d_{50}).

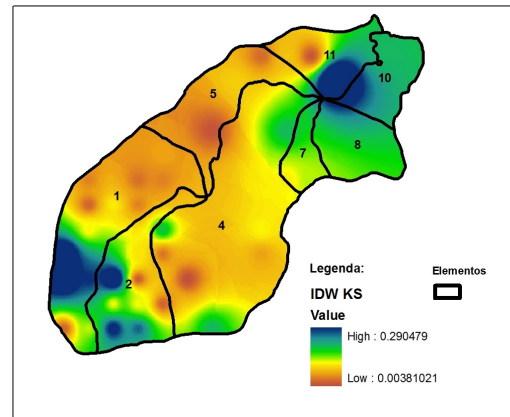


Figura 11: Espacialização (interpolação) da condutividade hidráulica do solo (K_s).

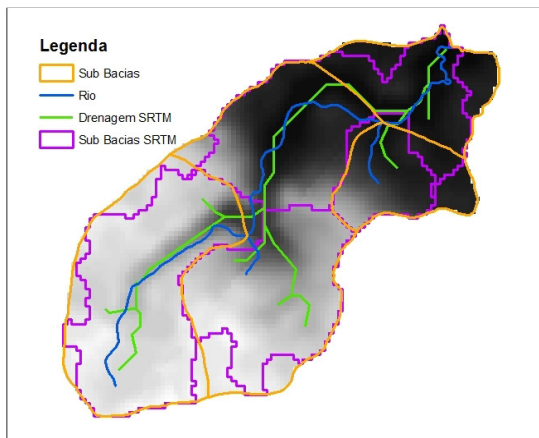


Figura 12: Drenagem da microbacia do rio Tambaí e divisões das sub-bacias.

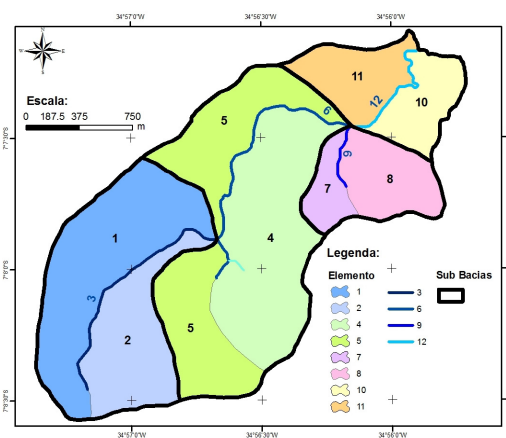


Figura 13: Discretização da microbacia do rio Tambaí em planos e canais para modelagem hidrossedimentológica distribuída.

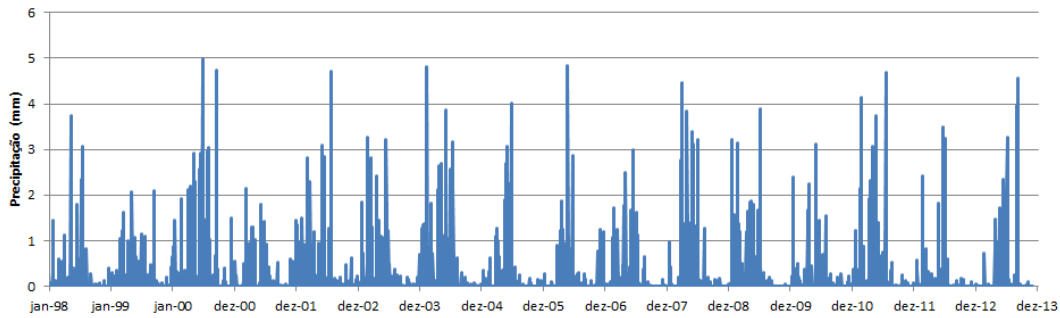


Figura 14: Hietograma baseado no TRMM para a microbacia do Tambaí (1998 – 2013).

A análise *wavelet* foi realizada usando os dados do TRMM para o período de 1998 a novembro de 2013 (Fig. 14 e Fig. 15a) e baseada nos procedimentos apresentados por Santos et al. (2013), como mostra a Fig. 16. A Fig. 16c mostra que o sinal apresenta uma frequência anual bem definida e a Fig. 15b mostra que esta frequência está presente em toda a série desde 1998 até o novembro/2013. A Fig. 15c também mostra a existência de uma frequência bianual, mas a mesma aparece só no início e final da série observada (Fig. 15b). A Fig. 15d fornece a série temporal da escala-média, revelando que o período analisado pode ser classificado como úmido (Santos et al., 2013)

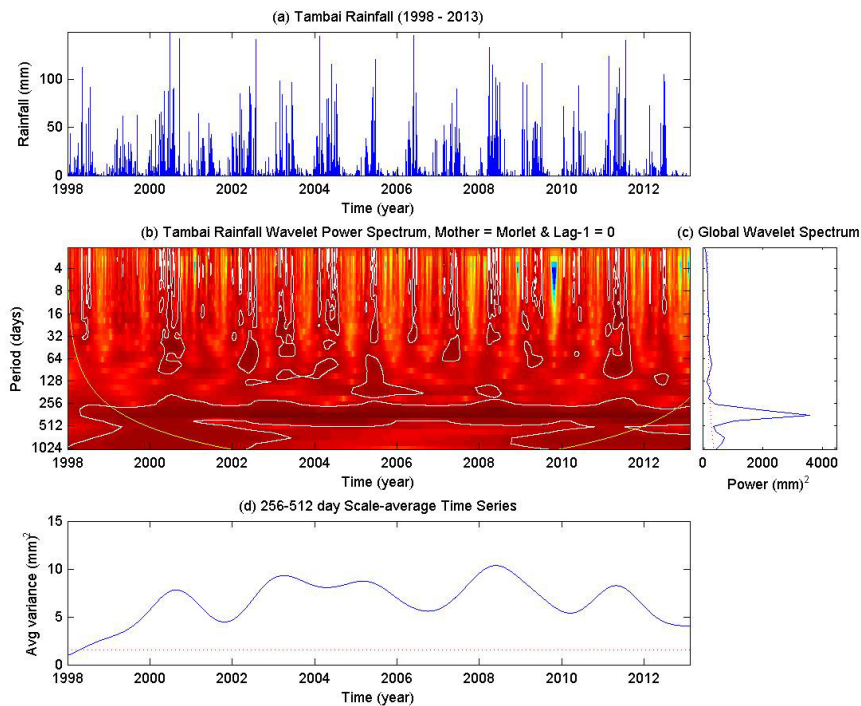


Figura 15: Análise com a transformada *wavelet* contínua para os dados de precipitação (TRMM) do período 1998 a 2013: (a) hietograma, (b) espectro de potência usando a *wavelet*-mãe Morlet, (c) espectro global, (d) série da escala-média na banda 256–512 dias.

RESULTADOS FINAIS

Selecionadas as quadrículas de cada ponto que serão utilizadas para caracterização do ponto, o resultado final para cada um é o resultado da média dos valores de cada quadrícula para determinação de θ_o , θ_f , m , n , S e K_s e o cálculo de h_g , que é função desses parâmetros, a partir dessas médias. Os valores utilizados estão apresentados na Tabela 02 e os resultados finais obtidos estão na Tabela 03 à seguir.

Tabela 02: Quadrículas selecionadas em cada ponto e seus parâmetros.

PONTO		θ_o	θ_f	m	n	η	S	h_g	K_s (mm/s)
1	01.1	0,03154	0,2729	0,2556	2,6868	5,9120	1,4740	-13,2447	0,3788
	01.2	0,03551	0,2322	0,2635	2,7154	5,7957	1,1573	-18,8877	0,2024
6	06.2	0,00904	0,2328	0,2845	2,7953	5,5148	1,1570	-27,9781	0,1222
	06.3	0,01228	0,1982	0,2805	2,7797	5,5650	0,9682	-22,5674	0,1273
9	09.1	0,02886	0,1715	0,2872	2,8058	5,4819	0,5314	-174,2265	0,0065
	09.2	0,02522	0,1985	0,2861	2,8013	5,4958	0,7158	-154,169	0,0110
10	10.1	0,00980	0,2094	0,259	2,6991	5,8610	0,6220	-21,3458	0,0508
	10.3	0,00937	0,1817	0,2215	2,5689	6,5156	0,4851	-12,9736	0,0566
11	11.1	0,03931	0,2411	0,1868	2,4594	7,3535	0,8819	-109,3996	0,0181
	11.2	0,04668	0,2075	0,1934	2,4795	7,1712	0,4833	-35,7761	0,0211
14	14.1	0,02391	0,2449	0,2196	2,5628	6,5538	1,2890	-95,6711	0,0421
	14.3	0,02621	0,2816	0,2212	2,568	6,5213	0,9881	-28,5109	0,0720
25	25.1	0,05490	0,2055	0,1622	2,3871	8,1660	0,2885	-33,7958	0,0081
	25.3	0,04684	0,2263	0,1658	2,3975	8,0321	0,4988	-140,1835	0,0049
34	34-1	0,06115	0,2325	0,3401	3,0308	4,9402	1,2174	-137,1034	0,0375
	34-2	0,06252	0,2507	0,3405	3,0326	4,9368	1,4070	-91,3743	0,0685
37	37-1	0,08378	0,2817	0,2784	2,7717	5,5916	2,3553	-197,8163	0,0807
	37-3	0,07395	0,2697	0,2955	2,8390	5,3838	1,6891	-51,8638	0,1623
43	43-2	0,05802	0,2102	0,3127	2,9100	5,1979	1,1028	-166,3477	0,0281
	43-3	0,06389	0,2054	0,3036	2,8719	5,2939	1,1948	-282,7851	0,0207
44	44-1	0,03931	0,2411	0,3042	2,8742	5,2878	0,9412	-43,3581	0,0588
	44-3	0,07679	0,2637	0,2928	2,8283	5,4147	1,7306	-129,8432	0,0711
46	46-1	0,01613	0,2571	0,2715	2,7454	5,6833	1,5611	-29,5697	0,1934
	46-2	0,00168	0,2405	0,2738	2,7539	5,6527	1,0919	-10,0469	0,2816
47	47-1	0,03632	0,2681	0,2585	2,6972	5,8686	1,1830	-16,4737	0,2048
	47-2	0,02354	0,2554	0,2692	2,7368	5,7146	1,2959	-14,8381	0,2755
48	48-1	0,03124	0,2616	0,2948	2,8361	5,3920	1,0357	-15,7950	0,1700
	48-3	0,03201	0,2514	0,2976	2,8475	5,3599	1,4733	-31,7130	0,1803
49	49-1	0,00602	0,2632	0,3088	2,8934	5,2386	0,8234	-6,6570	0,2307
	49-3	0,00594	0,2358	0,3002	2,8579	5,3311	1,8598	-33,1779	0,2626
50	50-2	0,09886	0,2540	0,2753	2,7598	5,6324	0,7461	-187,9441	0,0109
	50-3	0,07355	0,1946	0,2832	2,7900	5,5315	0,7196	-198,4661	0,0124
52	52-1	0,09518	0,1887	0,2887	2,8118	5,4637	0,3068	-99,2712	0,0060
	52-3	0,10439	0,1899	0,2882	2,8098	5,4697	0,5349	-1397,7435	0,0014
55	55-2	0,15214	0,2357	0,2648	2,7203	5,7767	0,5583	-177,7659	0,0128
	55-3	0,13308	0,2411	0,2561	2,6884	5,9051	0,7247	-153,0096	0,0183
56	56-1	0,10404	0,3031	0,2973	2,8461	5,3639	0,9240	-32,0667	0,0775
	56-2	0,11413	0,3119	0,3242	2,9595	5,0843	0,5353	-12,3534	0,0695
57	57-2	0,00345	0,2512	0,2659	2,7243	5,7614	1,7960	-86,5887	0,0846
	57-3	0,00284	0,2709	0,2751	2,7592	5,6345	1,6398	-91,7119	0,0621
60	60-1	0,03594	0,2326	0,2870	2,8049	5,4847	1,6893	-463,2542	0,0180
	60-3	0,03584	0,2479	0,2843	2,7945	5,5172	1,5784	-442,7979	0,0152
61	61-2	0,05542	0,2246	0,2840	2,7931	5,5217	1,2170	-58,6211	0,0854
	61-3	0,03880	0,2332	0,2842	2,7943	5,518	0,6552	-16,4575	0,0767
62	62-1	0,00316	0,2585	0,3003	2,8585	5,3296	2,4069	-70,7196	0,1858
	62-3	0,00357	0,2654	0,3020	2,8652	5,3116	2,5319	-72,8319	0,1949

Continuação Tabela 2.									
PONTO		θ_o	θ_f	m	n	η	S	h_g	K_s (mm/s)
63	63-1	0,04500	0,2383	0,3132	2,9122	5,1924	0,9650	-17,1131	0,1645
	63-3	0,03509	0,2515	0,3061	2,8824	5,2666	0,7696	-10,3185	0,1542
76	76-1	0,04465	0,3344	0,2427	2,6408	6,1210	0,7223	-6,7659	0,1464
	76-3	0,04234	0,3092	0,2536	2,6795	5,9435	1,0440	-22,3879	0,1015
80	80-2	0,06219	0,2600	0,2761	2,7628	5,6221	0,9312	-34,0423	0,0731
	80-3	0,05663	0,1777	0,2857	2,8001	5,4996	0,6858	-321,6265	0,0069
88	88-1	0,02480	0,2777	0,2350	2,6144	6,2552	1,8660	-176,9624	0,0424
	88-3	0,01132	0,2604	0,2341	2,6114	6,2710	1,2221	-26,6269	0,1227
89	89-3	0,01800	0,2152	0,2482	2,6604	6,0284	1,1842	-58,1990	0,0676
92	92-1	0,07155	0,2734	0,2782	2,7708	5,5948	1,4918	-221,7953	0,0283
93	93-1	0,06017	0,1550	0,2449	2,6486	6,0835	0,6142	-124,316	0,0177
	93-2	0,04519	0,2013	0,2437	2,6444	6,1035	0,9953	-132,9353	0,0263
95	95-1	0,07915	0,1895	0,2680	2,7323	5,7309	0,4408	-29,0608	0,0344
	95-2	0,06993	0,1949	0,2703	2,741	5,699	0,6166	-72,8208	0,0237
99	99-2	0,01683	0,2813	0,2569	2,6914	5,8929	1,6963	-121,9817	0,0498
	99-3	0,01657	0,2063	0,2626	2,7121	5,8087	0,5723	-134,2329	0,0072
100	100-1	0,11912	0,2502	0,2729	2,7505	5,6649	1,0090	-103,5325	0,0431
	100-2	0,09240	0,2513	0,2717	2,7463	5,6799	0,9578	-35,4546	0,0924
101	101-1	0,01571	0,2399	0,2705	2,7415	5,6973	0,4912	-49,1353	0,0124
	101-3	0,02281	0,3064	0,2670	2,7284	5,7459	0,5110	-26,6173	0,0195
104	104-1	0,00637	0,2429	0,2932	2,8295	5,4110	0,8945	-21,3475	0,0912
	104-2	0,00601	0,2267	0,2913	2,8220	5,4330	1,3121	-87,6546	0,0512
107	107-1	0,01071	0,2559	0,2617	2,7088	5,8215	1,7566	-104,6366	0,0674
	107-3	0,01748	0,2612	0,2655	2,7230	5,7663	1,8986	-113,6137	0,0732
108	108-2	0,04673	0,2242	0,2795	2,7757	5,5783	2,2203	-223,4133	0,0708
	108-3	0,06160	0,2509	0,2862	2,8018	5,4945	1,7560	-813,5421	0,0115
109	109-1	0,00452	0,2889	0,3136	2,9139	5,1883	1,9232	-56,2898	0,1351
	109-2	0,00755	0,2864	0,3108	2,9017	5,2180	1,4407	-9,3681	0,4635
116	116-1	0,09718	0,2518	0,3150	2,9198	5,1743	1,3963	-81,2978	0,0914
	116-2	0,09426	0,2963	0,2901	2,8174	5,4467	1,9506	-68,8471	0,1574

Tabela 03: Resumo dos parâmetros finais de cada ponto.

RESULTADOS								
Ponto	Teor de umidade		Parâmetros					
	Inicial	Final	De forma			De escala		
	θ_o	θ_f	m	n	η	S	h_g	K_s
1	0,0335	0,2526	0,2596	2,7011	5,8539	1,3157	-8,6740	0,2906
6	0,0107	0,2155	0,2825	2,7875	5,5399	1,0626	-25,2277	0,1248
9	0,0270	0,1850	0,2867	2,8036	5,4889	0,6236	-161,2001	0,0088
10	0,0096	0,1956	0,2403	2,6340	6,1883	0,5536	-16,8790	0,0537
11	0,0430	0,2243	0,1901	2,4695	7,2624	0,6826	-67,6802	0,0196
14	0,0251	0,2633	0,2204	2,5654	6,5376	1,1386	-51,1892	0,0571
25	0,0509	0,2159	0,1640	2,3923	8,0991	0,3937	-71,6875	0,0065
34	0,0618	0,2416	0,3403	3,0317	4,9385	1,3122	-107,5151	0,0530
37	0,0789	0,2757	0,2870	2,8054	5,4877	2,0222	-98,1040	0,1215
43	0,0610	0,2078	0,3082	2,8910	5,2459	1,1488	-214,9137	0,0244
44	0,0581	0,2524	0,2985	2,8513	5,3513	1,3359	-81,7786	0,0650
46	0,0089	0,2488	0,2727	2,7497	5,6680	1,3265	-17,4857	0,2375
47	0,0299	0,2618	0,2639	2,7170	5,7916	1,2395	-15,4985	0,2402

Continuação tabela 3.								
Ponto	Teor de umidade		Parâmetros					
	Inicial	Final	De forma			De escala		
	θ_o	θ_f	m	n	η	S	h_g	K_s
48	0,0316	0,2565	0,2962	2,8418	5,3760	1,2545	-23,0640	0,1752
49	0,0060	0,2495	0,3045	2,8757	5,2849	1,3416	-17,4036	0,2467
50	0,0862	0,2243	0,2793	2,7749	5,5820	0,7329	-190,1577	0,0117
52	0,0998	0,1893	0,2885	2,8108	5,4667	0,4209	-316,5006	0,0037
55	0,1426	0,2384	0,2605	2,7044	5,8409	0,6415	-162,2733	0,0156
56	0,1091	0,3075	0,3108	2,9028	5,2241	0,7297	-21,4026	0,0735
57	0,0031	0,2611	0,2705	2,7418	5,6980	1,7179	-88,1604	0,0734
60	0,0359	0,2403	0,2857	2,7997	5,5010	1,6339	-450,3551	0,0166
61	0,0471	0,2289	0,2841	2,7937	5,5199	0,9361	-34,0020	0,0811
62	0,0034	0,2619	0,3012	2,8619	5,3206	2,4694	-71,7724	0,1904
63	0,0400	0,2449	0,3097	2,8973	5,2295	0,8673	-13,4329	0,1594
76	0,0435	0,3218	0,2482	2,6602	6,0323	0,8832	-12,5103	0,1240
80	0,0594	0,2189	0,2809	2,7815	5,5609	0,8085	-58,4763	0,0400
88	0,0181	0,2691	0,2346	2,6129	6,2631	1,5441	-62,7389	0,0826
89	0,0180	0,2152	0,2482	2,6604	6,0284	1,1842	-58,1921	0,0676
92	0,0716	0,2734	0,2782	2,7708	5,5948	1,4918	-221,8064	0,0283
93	0,0527	0,1781	0,2443	2,6465	6,0935	0,8048	-129,3698	0,0220
95	0,0745	0,1922	0,2692	2,7367	5,7150	0,5287	-46,3680	0,0291
99	0,0167	0,2438	0,2598	2,7018	5,8508	1,1343	-111,2207	0,0285
100	0,1058	0,2507	0,2723	2,7484	5,6724	0,9834	-56,1330	0,0678
101	0,0193	0,2731	0,2688	2,7350	5,7216	0,5011	-34,9877	0,0160
104	0,0062	0,2348	0,2923	2,8258	5,4220	1,1033	-43,0354	0,0712
107	0,0141	0,2586	0,2636	2,7159	5,7939	1,8276	-109,1275	0,0703
108	0,0542	0,2375	0,2829	2,7888	5,5364	1,9882	-229,4301	0,0412
109	0,0060	0,2876	0,3122	2,9078	5,2032	1,6820	-19,6006	0,2993
116	0,0957	0,2741	0,3026	2,8686	5,3105	1,6735	-69,0569	0,1244

Curvas de condutividade hidráulica

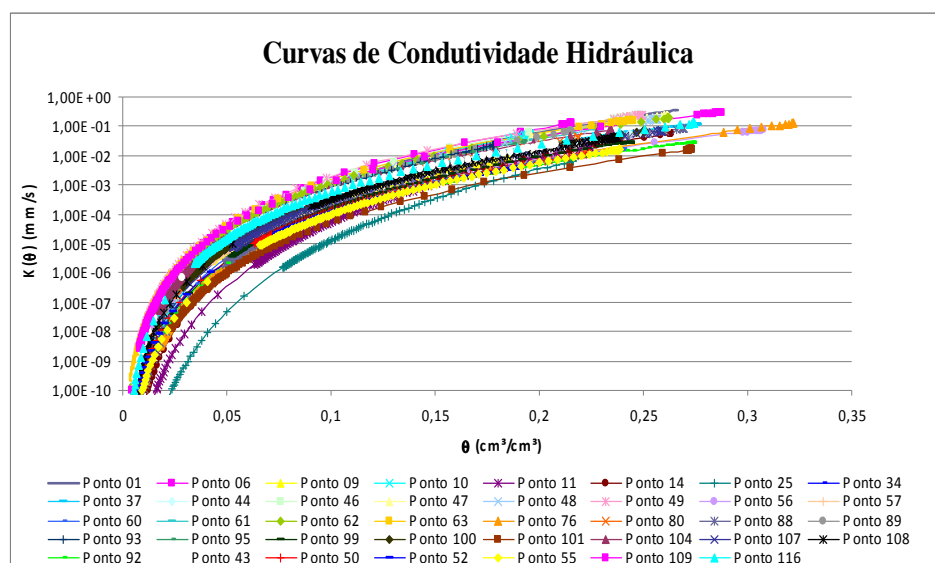


Figura 16: Curva de condutividade hidráulica dos diversos pontos.

Curvas de retenção de água

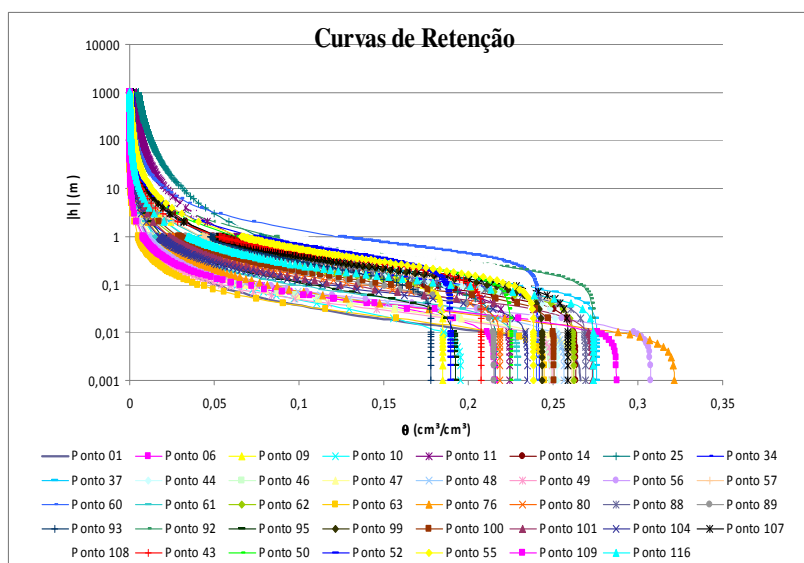


Figura 17: Curva de retenção de água dos diversos pontos.

CONCLUSÃO

Foi possível entender a caracterização hidrodinâmica do solo através do método Beerkan, e perceber a simplicidade de seus cálculos e praticidade de sua aplicação. O método apresenta bons resultados, porém vale destacar que a interferência humana nos procedimentos de campo é muito grande – colocação dos volumes de água, registro dos tempos de infiltração, entre outros – podendo alterar os resultados. Portanto, os ensaios de campo devem ser realizados da maneira sempre correta e precisa possível.

Os resultados obtidos variaram entre os pontos, e mesmo entre as quadrículas de cada ponto, isso porque as propriedades hidráulicas do solo são afetadas por diversos fatores: ausência ou presença de plantas, diversidade da fauna, uso do solo, exposição do solo à ação direta da chuva, entre outros. Na região, foram contempladas áreas bem diferenciadas entre si, como plantação, área urbanizada, mata, granjas, entre outros, o que interfere nos resultados da modelagem hidrossedimentológica.

O conhecimento das propriedades hidráulicas do solo é muito importante, por exemplo, em processos de irrigação, drenagem, conservação de água, recarga e contaminação do lençol freático, infiltração, escoamento superficial e produção de sedimentos, portanto é de grande aplicabilidade na engenharia, devendo o engenheiro, que atue nessas áreas, entender da determinação dessas características.

BIBLIOGRAFIA

BROOKS, R.H. & COREY, A.T. *Hydraulic properties of porous media*. Fort Collins, Colorado State University, 1964.

BURDINE, N.T. *Relative permeability calculations from pore-size distribution data*. Am. Inst. Mining Metal. Eng., 198:71-77, 1953.

DE SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; NETTO, A. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; DA SILVA, E. B. *Variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de duas parcelas agrícolas no Estado da Paraíba*. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 N.5 Viçosa sept./oct. 2008.

HAVERKAMP, R.; ROSS, P. J.; SMETTEM, K. R. J.; PARLANGE, J. Y. *Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer*. 2. Physically based infiltration equation. Water Resources Res., 1994.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA, J.M.; CUENCA, R.; BRAUD, I. & HAVERKAMP, R. *Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments - BEST*. Soil sci. Soc. Am. J., 70:521-532, 2006.

MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. *The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties*. Geoderma, 107:55-70, 2002.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. & BRISTOW, K.L. *Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves*. Geoderma, 93:225-253, 1999.

SANTOS, C. A. G.; FREIRE, P. K. M. M.; TORRENCE, C. *A transformada wavelet e sua aplicação na análise de séries hidrológicas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 18(3), 271-280, 2013.

SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V.S. *Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), Campina Grande, 4(1), 92-96, 2000.

SOARES, W. A. *Determinação dos parâmetros hídricos do solo por meio da simulação computacional do processo de infiltração*. Revista de Estudos Culturais e da Contemporaneidade - ISSN: 2236-1499.

VAN GENUCHTEN, M.TH. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.