

Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo

Evaluation of the infiltration capacity of soils under different types of management

Luiz Alberto Ribeiro Mendonça

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Civil/Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC).
Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil da UFC, *Campus* do Cariri

Manuel Antonio Navarro Vásquez

Engenheiro Agrônomo. Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (USP/Esalq).
Professor da Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (Centec), Cariri

José Valmir Feitosa

Estatístico. Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de São Paulo (Unesp). Professor Adjunto do Curso de Agronomia da UFC, *Campus* do Cariri

Juliana Filgueiras de Oliveira

Tecnóloga em Recursos Hídricos/Saneamento pela Faculdade de Tecnologia Centec, Cariri

Raimunda Moreira da Franca

Bióloga. Mestre em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela UFC. Professora da Faculdade de Tecnologia Centec, Cariri

Edilza Maria Felipe Vásquez

Engenheira Agrônoma. Doutora em Fitotecnia pela UFC. Professora da Faculdade de Tecnologia Centec, Cariri

Horst Frischkorn

Físico. Dr. rer. nat. em Físico-química pela Universidade de Marburg/Alemanha. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC

Resumo

O manejo inadequado da vegetação e do solo leva a mudanças físicas que afetam a recarga de aquíferos. A Chapada do Araripe possui centenas de fontes que jorram na encosta; porém, há indícios de redução de vazões. Neste trabalho foi estudada a capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo florestal na Chapada. Amostras de solos de 21 localidades foram ordenadas em quatro grupos. O Grupo 1, de áreas de vegetação preservada e os demais de áreas antropizadas. Observou-se que a umidade e capacidade de infiltração apresentaram boa correlação linear com a matéria orgânica; a umidade média do Grupo 1, no período seco, foi superior à dos demais grupos mesmo no período chuvoso; as áreas antropizadas apresentaram baixo conteúdo de matéria orgânica, umidade e baixa capacidade de infiltração, indicando modificação na estrutura do solo capaz de reduzir a recarga.

Palavras-chave: capacidade de infiltração; matéria orgânica; recarga; Chapada do Araripe.

Abstract

Inadequate vegetation and soil management leads to physical changes that affect aquifer recharge. The Araripe Plateau feeds an elevated number of springs on its northern slope; however, there are indications that their yield is decreasing. Through this research, it was studied the infiltration capacity of soils under different types of management. Soil samples from 21 sites were grouped into four groups. Group 1 represents areas of preserved vegetation, the others, anthropized ones. It was observed that soil moisture and infiltration capacity are linearly well correlated with organic matter; mean soil moisture during the dry season was significantly higher for Group 1 than for the other groups, even during the rainy season and anthropized areas show low organic matter contents, soil moisture, and infiltration capacity, indicating modifications in the soil's structure that reduce aquifer recharge.

Keywords: infiltration capacity; organic matter; recharge; Araripe Plateau.

Endereço para correspondência: Luiz Alberto Ribeiro Mendonça – Curso de Engenharia Civil, *Campus* da UFC no Cariri – Avenida Tenente Raimundo Rocha, s/n – Bairro Universitário – 63.000-000 – Juazeiro do Norte (CE), Brasil – Tel.: (88) 3572-1329 – Fax: (88) 3572-7200 – E-mail: larm@ufc.br

Recebido: 24/4/08 – **Aceito:** 10/2/09

Introdução

A matéria orgânica é um constituinte cimentante que mantém os solos agregados, preservando a porosidade e a capacidade de infiltração (CALOURO, 2005).

A presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade, aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água, reduzindo o risco de erosão e estimulando a atividade biológica (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001).

Sob florestas, os solos apresentam significativa porosidade, especialmente macroporosidade. Estes macroporos são caminhos preferenciais que facilitam a infiltração e a recarga dos aquíferos (CHENG; LIN; LU, 2002; BEST *et al.*, 2003).

A falta de controle no manejo da vegetação e do solo leva a modificações na estrutura do mesmo, causando-lhe maior ou menor compactação; modificando a densidade; afetando a porosidade, o armazenamento e a disponibilidade de água às plantas; interferindo na capacidade de infiltração e no desenvolvimento radicular da vegetação (KLEIN; LIBARDI; SILVA, 1998; DIAS JUNIOR; ESTANISLAU, 1999; SOUZA; ALVES, 2003). Neste contexto, o conhecimento da capacidade de infiltração e da condutividade hidráulica dos solos é fundamental na solução de problemas relativos às áreas de irrigação e drenagem, na conservação e no manejo de água e solo e, no controle do deflúvio superficial (SOUZA; ALVES, 2003).

Estudos realizados por Mendonça (2001), de áreas preservadas na Floresta Nacional do Araripe (Flona) para áreas desmatadas, mostraram um aumento na densidade aparente dos solos e uma redução na matéria orgânica, umidade, porosidade e condutividade hidráulica. A alteração destes parâmetros levou à redução na capacidade de infiltração e a um possível esgotamento do solo com consequente empobrecimento florestal. Nesta mesma área, Leite, Figueiredo e Silva (1990) observaram uma redução na água disponível no solo das áreas desmatadas em comparação com áreas preservadas.

A baixa capacidade de infiltração, associada às perdas de umidade do solo em áreas desmatadas, é capaz de reduzir sensivelmente a

recarga de aquíferos. Segundo Goudie (1993), imediatamente após a derrubada de uma floresta, pode-se verificar um aumento na recarga, causando até elevação do nível piezométrico. Mas, após algum tempo, a compactação e o endurecimento da superfície do solo o deixam desfavorável ao crescimento de plantas, acelerando o escoamento superficial e reduzindo a recarga, baixando o nível piezométrico.

O desmatamento com seus efeitos de alterações na estrutura do solo e na recarga dos aquíferos da Chapada do Araripe pode ser a causa da redução nas vazões de fontes que surgem na encosta. O fenômeno foi identificado por Kemper, Gonçalves e Bezerra (1995), que verificaram através de dados históricos que a vazão da fonte da Bateira, situada no município do Crato, diminuiu de 1.490 m³/h, em 1854, para 376 m³/h, em 1993.

Segundo Mapa (1995), as áreas compactadas podem ser recuperadas com reflorestamento. Ele demonstrou que latossolos compactados exibem, após alguns anos de implantação de reflorestamento, um rápido desenvolvimento de macro e microporosidade em virtude da maior incorporação de matéria orgânica. Os estudos comprovaram que a matéria orgânica nestas áreas manteve os macroporos estáveis e facilitou a retenção de água nos microporos.

Estudos realizados por Kuczera (1987), Vertessy *et al.* (1995), Vertessy, Watson e O'sullivan (2001) e Roberts, Vertessy e Grayson (2001) mostraram mudanças no fluxo de base de rios próximos a áreas que sofreram desmatamento. Segundo os autores, houve um aumento das vazões anuais no período entre um e três anos após o desmatamento e uma posterior diminuição progressiva que perdurou por 15 a 20 anos com a regeneração da vegetação. Somente depois de 40 a 50 anos, quando as plantas já estavam maduras, observaram uma recuperação da vazão. Tais variações de vazão também foram atribuídas pelos autores à maior evapotranspiração na fase de crescimento e à posterior queda com o amadurecimento da vegetação.

No presente trabalho, foi feita uma avaliação da capacidade de infiltração de solos da Chapada do Araripe, submetidos a diferentes tipos de manejo, associada ao teor de matéria orgânica, utilizado como indicador de modificações na estrutura dos solos.

Metodologia

Localização da área

A área estudada é localizada no setor oriental da Chapada do Araripe, inserida em parte dos municípios de Jardim, Barbalha, Crato e Santana do Cariri, extremo sul do Estado do Ceará, a aproximadamente 900 m de altitude (Figura 1).

O clima desta área, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw', característico de "clima tropical chuvoso", com precipitação média anual de 1.033 mm (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1996), temperatura média máxima de 34 °C e mínima de 18 °C e umidade relativa do ar média

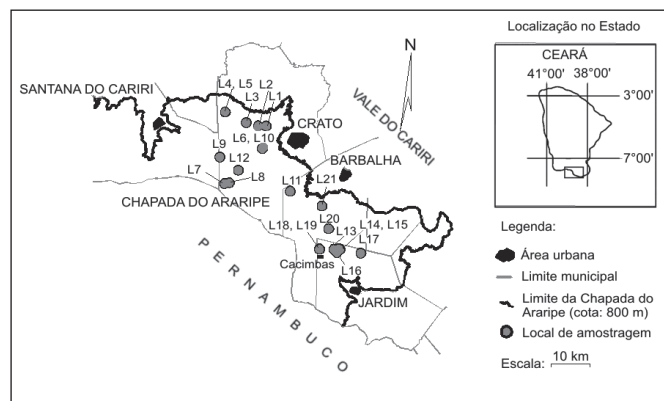


Figura 1 – Mapa de localização da área

máxima de 80% e mínima de 49% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1993).

Na área encontra-se a Flona, com aproximadamente 383 km². Esta área preservada exerce grande influência no clima local, tornando-o úmido e desempenhando papel importante nos recursos hídricos regionais.

Segundo Jacomine, Almeida e Medeiros (1973), Lima (1989) e Cavalcanti e Lopes (1994), no setor oriental da Chapada encontra-se:

- a floresta úmida semiperenifolia, numa faixa margeando a encosta, abrangendo, sobretudo, uma parcela dos municípios de Crato e Barbalha, caracterizada pela alta densidade e elevado porte das árvores, com sub-bosque sem gramíneas;
- o cerradão, caracterizado por uma redução na densidade arbórea, bem como no porte das árvores, surgindo gramíneas e arbustos no sub-bosque;
- o cerrado, com árvores esgalhadas, retorcidas e distantes umas das outras, apresentando elevado grau de adaptação ao déficit hídrico e ao fogo;
- as áreas antropizadas para diversos tipos de cultivos e atividades de manejos florestais.

De acordo com o levantamento exploratório realizado por Jacomine, Almeida e Medeiros (1973) e Carvalho *et al* (1999), no setor oriental da Chapada predominam solos do tipo latossolos vermelho-amarelos de textura argilosa, provenientes dos arenitos da Formação Exu, que afloram na área. O horizonte A destes solos apresenta percentual médio de argila de 38% e espessura média variável de 105 cm para áreas de floresta úmida e 55 cm, para as demais áreas. O horizonte B, verificado até a profundidade máxima de sondagem de 188 cm, apresenta 42% de argila. Em todos os perfis verifica-se conteúdo de matéria orgânica ligeiramente decrescente em profundidade.

Coleta de solos

As coletas de solos para determinação do teor de matéria orgânica e umidade, nos períodos chuvoso e seco, foram feitas por meio de trado espiral, a cada 20 cm, até 1 m de profundidade, em 21 localidades com características florestais distintas (Figura 1).

As amostras foram depositadas em recipientes hermeticamente fechados e devidamente identificadas. Aquelas do período chuvoso foram coletadas nos dias 22 de fevereiro e 5 de maio de 2006 e as do período seco, nos dias 26 de outubro e 13 de novembro de 2006.

As chuvas mensais registradas no posto pluviométrico de Caldas, no município de Barbalha, foram de 9, 336, 400, 243 e 87 mm para os meses de janeiro a maio de 2006. A precipitação acumulada no ano de 2006, de 1.075 mm, foi levemente superior à normal climatológica de 1961 a 1990, de 1.001 mm. Os maiores valores foram registrados nos meses de fevereiro a maio (Figura 2).

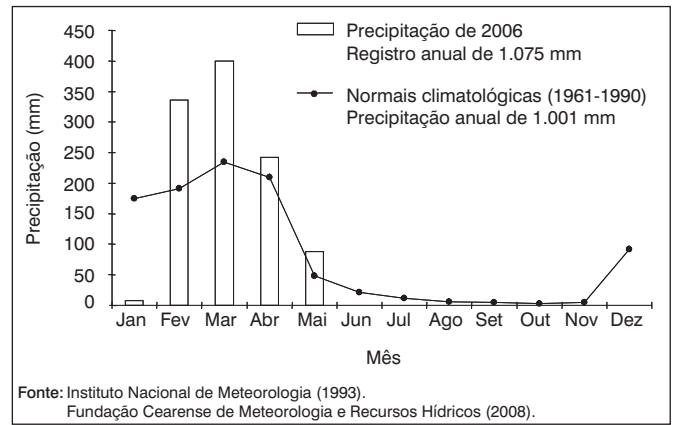


Figura 2 – Precipitações mensais de 2006 (Posto Caldas/Barbalha) e normais climatológicas de precipitação de 1961 a 1990

As coletas dos dias 22 de fevereiro e 5 de maio ocorreram, respectivamente, três e quatro dias após precipitações de 43 e 12 mm e após 28 e 93% da precipitação total do período chuvoso.

No período seco não ocorreram precipitações, e as coletas dos dias 26 de outubro e 13 de novembro foram feitas, respectivamente, 165 e 183 dias após a última chuva de 75 mm, registrada no dia 14 de maio.

Determinação da umidade e do conteúdo de matéria orgânica

A umidade foi determinada por método gravimétrico, através da razão entre o peso da água contida na amostra e o peso da parte sólida, após completa secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.

O conteúdo de matéria orgânica também foi determinado por método gravimétrico, através da razão entre o peso da fração calcinada da amostra em mufla a 500 °C, por cinco horas, e o peso do solo seco em estufa a 105 °C (DAVIES, 1974). As amostras foram pesadas em balança digital com sensibilidade de 0,001 g.

Os conteúdos de matéria orgânica dos solos das diferentes formações florestais e das áreas antropizadas foram ordenados em grupos com perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante.

Determinação da mudança no armazenamento de água no solo do período chuvoso para o seco

A variação do armazenamento de água no solo do período chuvoso para o seco foi feita comparando o conteúdo de água presente no perfil do solo entre os dois períodos. A variação do armazenamento (ΔS) foi obtida a partir da equação:

$$\Delta S = \int_0^L \theta_j dz - \int_0^L \theta_i dz \quad \text{Equação 1}$$

onde:

θ é a umidade de uma dada camada do solo nos períodos chuvoso inicial e seco final;

z é a profundidade do perfil desde a superfície do solo até a profundidade L de 1 m (LIBARDI, 2000).

Como o balanço hídrico de um determinado solo é representado pela contabilização das entradas e das saídas, num dado volume de controle, durante certo período de tempo as águas armazenadas no solo determinadas em pleno período chuvoso, três a quatro dias após precipitações, representam o extremo máximo da água retida no solo após percolação. As do período seco, determinadas após 165 e 183 dias sem chuva, representam o extremo mínimo determinado. Assim, a diferença entre os extremos representa a amplitude máxima das perdas por evapotranspiração numa série de perdas.

Determinação da capacidade de infiltração

A taxa de infiltração de água no solo foi avaliada durante uma hora, utilizando-se cilindros concêntricos com carga variável, conforme metodologia descrita por Forsythe (1975). A curva taxa de infiltração *versus* tempo foi ajustada segundo o modelo de Horton. A partir da curva ajustada foram obtidas as capacidades de infiltrações iniciais, ou máximas, correspondentes ao início das medidas e final, ou mínima, correspondente à estabilização.

Análise estatística

Utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$) para ordenar grupos de solos com perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante.

As variáveis umidade, lâmina de água, variação do armazenamento de água e capacidade de infiltração foram submetidas à análise de variância ao nível de 5% de significância para contrastes entre médias, utilizando-se o cálculo da diferença mínima significativa (LSD):

$$LSD = t_{tab} \sqrt{\frac{2S_e^2}{r}} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

t_{tab} é o t de Student tabelado ao nível de 5% de significância;

S_e^2 é o valor do quadrado médio do erro, obtido na análise de variância, e;

r é o número de repetições de cada tratamento.

Estas análises foram realizadas através do módulo *General Linear Models* (GLM) do programa *Statistical Analysis Systems* (SAS), versão de 1990.

Resultados

Matéria orgânica

A matéria orgânica das amostras de solo coletadas em 21 localidades de diferentes formações florestais foi ordenada em quatro grupos, de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de significância (Figura 3). Cada grupo representa solos com perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante. As médias de matéria orgânica por grupo não apresentaram diferenças significativas entre os períodos chuvoso e seco.

As localidades ordenadas por grupo de matéria orgânica quantitativamente semelhante estão listadas na Tabela 1.

As características e peculiaridades de cada grupo são:

- Grupo 1: áreas de floresta úmida preservada e de cerrado desmatado e abandonado em recuperação;
- Grupo 2: área de manejo de vegetação nativa, áreas desmatadas abandonadas e em recuperação, áreas de eucalipto e de pastagem abandonadas e áreas de cultivo próximas a floresta úmida ou consorciado com vegetação nativa;
- Grupo 3: área de manejo de eucalipto em diversas fases de crescimento, área de cerrado preservada e susceptível a incêndios consecutivos, áreas desmatadas sem critério e áreas de manejo de vegetação nativa com clareiras;
- Grupo 4: área de manejo de eucalipto em diversas fases de crescimento, área de manejo de vegetação nativa com clareiras, áreas de cultivos abandonados e de cerrado desmatado com solo exposto e indícios de processos erosivos.

Nos Grupos 3 e 4 foram observados vestígios de queimadas, que empobrecem o conteúdo de matéria orgânica dos solos. As clareiras observadas no meio do cerrado possuem solos de crosta muito compacta de alguns centímetros de espessura, sem vegetação, indicando o início de processo de desertificação. As áreas de cultivo de eucalipto não apresentam gramíneas no sub-bosque.

Varição do armazenamento de água no solo

As médias de umidade e as lâminas d'água média armazenadas nos perfis de 20 e 100 cm de solo, por grupo, nos períodos chuvoso e seco, estão nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

De acordo com a Tabela 2, a média de umidade do Grupo 1, tanto no período chuvoso como no seco, foi superior a dos demais grupos, com diferença significativa ao nível de significância de 5%, enquanto a do Grupo 4 apresentou os menores valores. Estes resultados indicam que o aporte de matéria orgânica em áreas preservadas ou em recuperação conserva a umidade devido à boa capacidade de absorção e retenção de água.

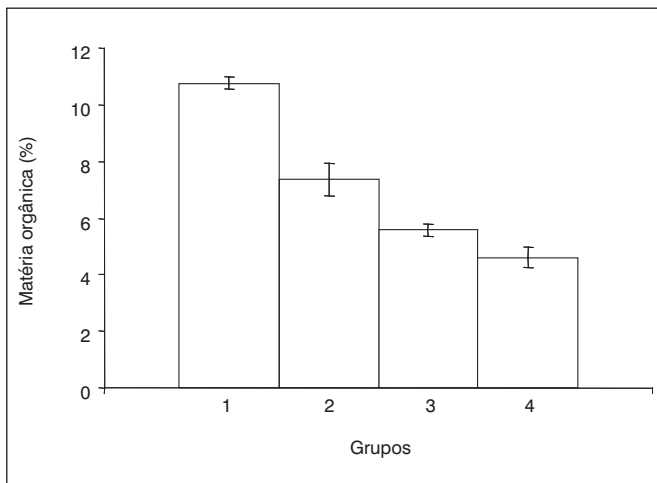


Figura 3 – Médias e desvio padrão amostral da matéria orgânica, por grupo, ordenadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A Tabela 3 mostra que a lâmina d'água média armazenada nos primeiros 20 cm do solo de cada grupo não apresentou diferença significativa entre as estações chuvosa e seca, exceto o Grupo 4. Nesse perfil, para os períodos chuvoso e seco, a melhor estimativa foi observada para o Grupo 1 que diferiu dos demais grupos. Para o perfil de 100 cm de solo, cada grupo apresentou diferença significativa entre os períodos chuvoso e seco, exceto o Grupo 3. Para os períodos chuvoso e seco, a melhor estimativa foi observada para o Grupo 1 que diferiu estatisticamente dos demais grupos.

Comparando a lâmina d'água média armazenada entre os grupos, nas estações chuvosa e seca, tanto nos primeiros 20 cm quanto no perfil de 100 cm de solo, observou-se diferença significativa entre o Grupo 1 de maior lâmina d'água e os demais grupos, indicando uma diminuição da disponibilidade de água nos solos dos Grupos 2, 3 e 4.

As médias, em ordem decrescente, da variação do armazenamento de água no solo, do período chuvoso para o seco, por profundidade e por grupo, estão na Tabela 4.

A Tabela 4 mostra que, nas profundidades de 0-20, 0-40, 0-60 e 0-80 cm, o Grupo 4 foi o que apresentou maior variação de armazenamento de água, diferindo estatisticamente dos demais grupos. Na profundidade de 0-100 cm as variações do armazenamento foram estatisticamente semelhantes para todos os grupos.

Verificou-se, portanto, que as maiores variações de armazenamento ocorreram nas camadas superficiais do solo de áreas de vegetação mais antropizadas. Até a profundidade de 80 cm, a média da variação de armazenamento foi maior no Grupo 4. Assim, o estoque de água retida no solo que foi perdida por evapotranspiração até a profundidade de 80 cm, do período chuvoso ao seco, foi maior no Grupo 4.

Até a profundidade de 80 cm devem ocorrer perdas sucessivas entre uma chuva e outra; esta água perdida precisa ser recuperada para que haja percolação para as camadas mais profundas. Assim, estas perdas são significativas na redução da recarga.

Tabela 1 – Localidades ordenadas por grupo de matéria orgânica quantitativamente semelhante

Grupo	Local	Descrição das localidades (Localização UTM)
1	L4	Cerrado desmatado e abandonado em recuperação, Crato (437017 e 9207362)
	L6	Floresta úmida da Flona, Crato (445280 e 9198714)
	L10	Floresta úmida da Flona, Crato (445543 e 9199039)
	L11	Floresta úmida da Flona, Barbalha (452521 e 9187654)
	L21	Floresta úmida da Flona, Barbalha (460703 e 9183896)
2	L1	Cultivo de mandioca a menos de 100 m da Flona, Crato (446221 e 9204472)
	L2	Área desmatada há dois anos, Crato (444164 e 9204529)
	L3	Cultivo de mandioca consorciado com mata nativa, Crato (441083 e 9205341)
	L7	Manejo de vegetação nativa desmatada há seis meses, Crato (435391 e 9189701)
	L8	Manejo de vegetação nativa, Crato (436759 e 9189943)
3	L9	Área de pastagem abandonada, Santana do Cariri (434335 e 9196454)
	L12	Plantação de eucalipto sem manejo, Crato (439097 e 9193098)
	L5	Área desmatada para fabricação de carvão, Crato (435707 e 9208079)
	L13	Manejo de eucalipto cortado há oito anos, Jardim (463799 e 9172749)
	L16	Manejo de eucalipto cortado há quatro anos, Jardim (464574 e 9171881)
4	L17	Manejo de vegetação nativa cortada há 12 anos, Jardim (470674 e 9171638)
	L20	Cerrado da Flona na estrada Barbalha – Jardim, Barbalha (462464 e 9178040)
	L14	Manejo de eucalipto cortado há três meses, Jardim (465248 e 9172799)
	L15	Manejo de vegetação nativa desmatada há cinco anos, Jardim (465101, 9172828)
	L18	Cerrado em recuperação desmatado há seis anos, Jardim (460077 e 9172792)
	L19	Plantação de Jaborandi, área desmatada há seis meses, Jardim (460110 e 9172784)

Tabela 2 – Médias de umidade por grupo nos períodos chuvoso e seco

Grupo	Período	
	Chuvoso	Seco
1	20,53 aA	17,49 aB
2	12,82 bA	8,97 bB
3	12,94 bA	10,08 bB
4	11,32 cA	6,77 cB

a, b: médias entre linhas seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$); A, B: médias entre colunas seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$).

Tabela 3 – Lâmina média d'água armazenada por grupo, nos períodos chuvoso e seco, nos perfis de 20 e de 100 cm de solo

Grupo	Lâmina d'água (mm)			
	Perfil de 20 cm		Perfil de 100 cm	
	Período		Período	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
1	42,85 aA	36,14 aA	204,13 aA	174,90 bA
2	21,30 aB	15,42 aB	121,85 aB	89,58 bB
3	27,06 aB	20,59 aB	128,06 aB	100,71 aB
4	23,28 aB	13,29 bB	113,29 bB	67,78 cB

a,b,c: médias entre linhas e por perfil, seguidas por mesma letra minúscula, não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$); A, B: médias entre colunas e por perfil, seguidas por mesma letra maiúscula, não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$).

Tabela 4 – Médias, em ordem decrescente, da variação do armazenamento de água no solo, do período chuvoso para o seco, por profundidade e por grupo

Profundidade (cm)/perda d'água média (mm)				
0-20	0-40	0-60	0-80	0-100
9,99 a (4)	19,41 a (4)	28,39 a (4)	37,05 a (4)	45,51 a (4)
6,71 b (1)	12,66 b (1)	18,18 b (1)	23,87 b (2)	32,28 a (2)
6,47 b (3)	12,33 b (3)	17,70 b (3)	23,60 b (1)	29,23 a (1)
5,89 b (2)	11,36 b (2)	17,12 b (2)	22,67 b (3)	27,35 a (3)

a, b: médias na mesma coluna seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$); (1), (2), (3) e (4): os valores entre parênteses correspondem aos grupos anteriormente definidos.

Tabela 5 – Capacidades médias de infiltração inicial (fpo) e final (fpc) por grupo

Grupo	fpo (cm/min)	fpc (cm/min)
1	6,95 a	3,60 a
2	2,15 b	0,95 b
3	1,70 b	1,30 b
4	1,35 b	0,50 b

a, b: médias na mesma coluna seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste LSD ($p > 0,05$).

Capacidade de infiltração

A Tabela 5 mostra as capacidades de infiltração médias inicial e final por grupo.

De acordo com a Tabela 5 há diferença significativa entre o Grupo 1, de maiores capacidades médias de infiltração inicial e final, e os demais grupos, indicando uma diminuição da infiltração nos solos dos Grupos 2, 3 e 4.

Discussão

A Figura 4 mostra que o modelo de correlação linear entre a matéria orgânica e a umidade, nos períodos chuvoso e seco, foi explicado respectivamente com 67,63 e 58,83% de ajuste a este modelo.

Verifica-se na Figura 4 que, em geral, um maior conteúdo de matéria orgânica resulta em uma maior umidade no solo.

Como a produção de matéria orgânica está associada à preservação e ao tipo de manejo da vegetação, em regiões semiáridas, a adoção de sistemas capazes de manter mais água disponível para as plantas é importante para evitar problemas na sucessão de áreas manejadas e na manutenção e recuperação de vegetação preservada.

No topo da Chapada do Araripe, onde o lençol freático encontra-se a aproximadamente 120 m de profundidade, a manutenção das características das florestas úmidas das áreas preservadas no período seco deve-se principalmente à água armazenada no solo em que se encontra a zona radicular.

A Figura 5 mostra a regressão linear entre as capacidades de infiltração inicial e final e a matéria orgânica do solo.

De acordo com a Figura 5, os modelos de correlação linear entre as capacidades de infiltração inicial e final e a matéria orgânica dos primeiros 20 cm de profundidade foram explicados, respectivamente, com 91,04 e 85,12% dos dados ajustados. Pela análise de resíduo, ao nível de 95% de confiança observou-se a distribuição de todos os dados dentro deste intervalo.

Verificou-se, desta maneira, que quanto maior o conteúdo de matéria orgânica, maior a capacidade de infiltração. As maiores capacidades de infiltração foram observadas nas áreas de floresta úmida (Grupo 1), que mostrou maior conteúdo de matéria orgânica; as menores foram observadas nas áreas antropizadas, que apresentaram menor conteúdo de matéria orgânica (Grupos 2, 3 e 4).

A constatação de que a infiltração é maior em áreas de floresta preservada que em áreas de vegetação antropizada também foi feita por Leite e Medina (1984), Cavenage *et al* (1999), Centurion, Cardoso e Natale (2001) e Mendonça (2001). Em florestas preservadas, a serrapilheira e a matéria orgânica produzidas protegem o solo dos impactos das gotas de chuva e ajudam a manter uma elevada capacidade de infiltração, dificultando a ocorrência de erosão em áreas não alteradas. Além do mais, as raízes das árvores ajudam a manter o solo coeso, reduzindo o perigo do transporte de sedimentos por enxurradas mesmo em áreas de grande declividade.

Como a capacidade de infiltração depende fundamentalmente da umidade antecedente, da natureza e do estado da estrutura do solo superficial, ela é facilmente afetada pelo tipo de vegetação e de manejo. Assim, a capacidade de infiltração é função do grau de antropização e do tipo de cobertura do solo. Enquanto as áreas preservadas possuem os solos protegidos contra a desagregação,

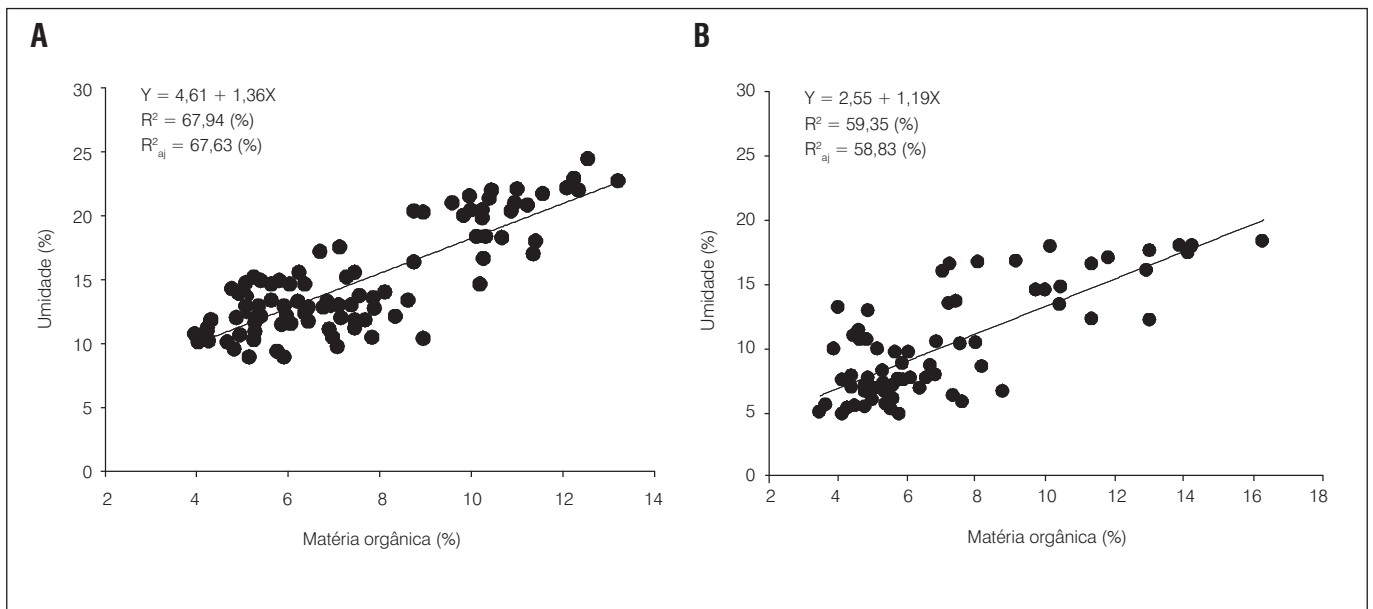


Figura 4 – Regressão linear entre a umidade e a matéria orgânica nos períodos chuvoso (A) e seco (B)

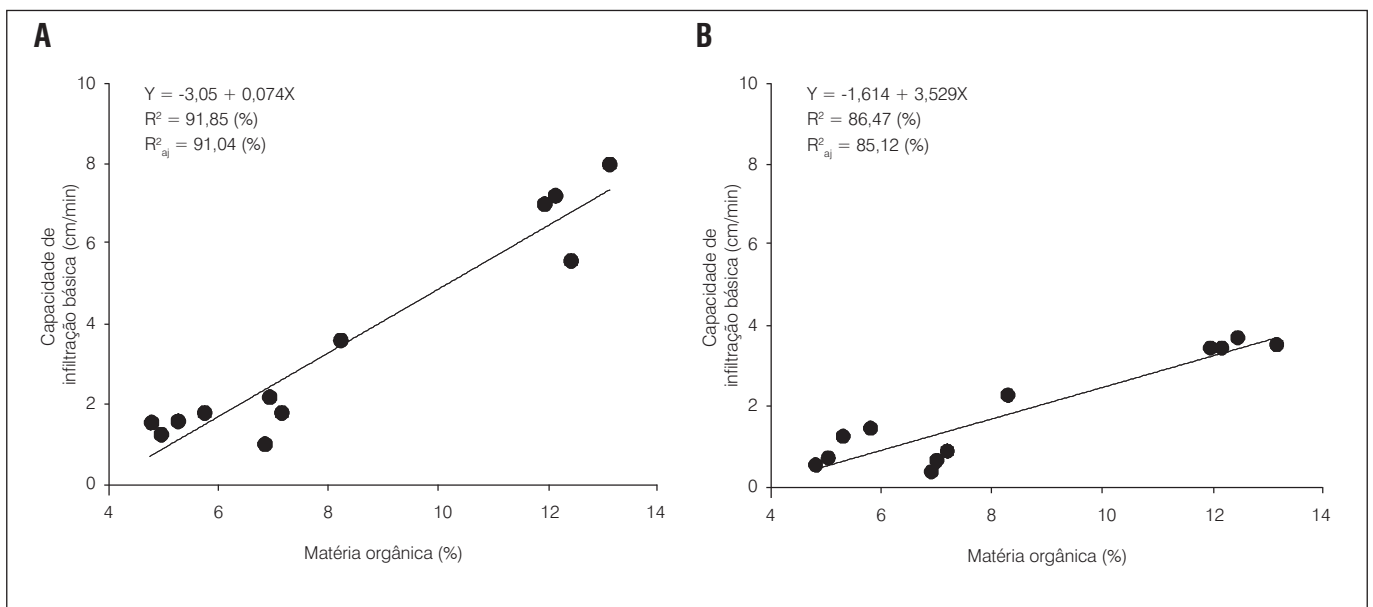


Figura 5 – Regressão linear entre a capacidade de infiltração inicial (A) e final (B) e a matéria orgânica

o que influi diretamente na capacidade de infiltração; as áreas antropizadas sem controle possuem solos compactados e pobres em matéria orgânica, afetando o arejamento e a capacidade de infiltração, assim, prejudicando o crescimento do sistema radicular, interferindo na recuperação das áreas degradadas e influenciando na redução da recarga.

Quando o preparo do solo é realizado nos sistemas convencionais (em clima moderado), o material orgânico da superfície é praticamente todo incorporado e a terra na superfície fica desagregada.

Como resultado, a estrutura superficial do solo fica mais susceptível ao transporte de sedimentos pelas enxurradas, além de provocar compactação na subsuperfície, dificultando o movimento da água no perfil e o desenvolvimento das raízes.

Como os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre a infiltração da água no solo estão associados ao comportamento hidrodinâmico do mesmo e este é função da estrutura física, deduz-se que os solos antropizados estudados pertencentes aos Grupos 2, 3 e 4 sofreram modificações acentuadas em função das formas de manejo. As maiores

alterações foram encontradas nos solos do Grupo 4, em função de seu baixo conteúdo de matéria orgânica, da elevada perda de umidade e da baixa capacidade de infiltração.

Estes efeitos afetam diretamente a recarga do lençol freático na área, pois a infiltração varia de acordo com a textura do solo, cobertura vegetal e o grau de saturação. Além disso, a velocidade do fluxo entre camadas de solo é função da condutividade hidráulica que, por sua vez, é função do teor de umidade nas camadas.

Mendonça (2001) observou na mesma área outras modificações relacionadas à estrutura do solo que influem diretamente na infiltração e retenção de água no solo, como a redução da porosidade e da condutividade hidráulica, das áreas de floresta preservada para áreas antropizadas, de respectivamente 51 para 39% e $1,8 \times 10^{-2}$ para $3,2 \times 10^{-3}$ cm/s.

Com a redução da infiltração aumenta o escoamento superficial e o tempo de permanência da água na camada superficial do solo, no qual a evaporação é mais intensa devido à incidência direta dos raios solares na superfície do solo desnudado.

Se não forem tomadas medidas adequadas de monitoramento das condições de recuperação da vegetação e do solo, as áreas antropizadas mal manejadas poderão gerar impactos severos sobre o ciclo hidrológico local, o equilíbrio ecológico local e ecossistemas adjacentes.

Os diferentes sistemas de manejo de vegetação e solos deverão ter a finalidade de criar condições favoráveis à recuperação da vegetação manejada e da capacidade de infiltração e recarga na área.

A área de cerrado desmatada e abandonada em recuperação (Localidade L4, do Grupo 1) mostrou que as áreas abandonadas que não sofreram um processo contínuo de antropização tendem à recuperação dos ecossistemas florestais, permitindo uma maior manutenção do conteúdo de matéria orgânica, da umidade e da capacidade de infiltração dentre todas as localidades antropizadas. Esta capacidade de recuperação da vegetação do setor oriental da Chapada do Araripe também foi observada por Mendonça (2001) através de análises de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da matéria orgânica dos solos. Estas análises isotópicas mostraram que algumas áreas preservadas formadas de floresta úmida e transição floresta úmida/cerrado já foram áreas agrícolas antes da instalação da Flona. Estas observações indicam as condições favoráveis à recuperação das condições de recarga no setor oriental da Chapada do Araripe.

Não se deve esperar que solos sob cultivo e manejo mantenham os atributos físicos de solos sob vegetação nativa preservada, mas planos de manejo criteriosos de vegetação nativa podem ser uma alternativa para minimizar os impactos provocados por alterações nas propriedades físicas dos solos que influem na capacidade de infiltração. Os planos de manejos localizados em áreas de recarga de aquíferos no semiárido devem ser desenvolvidos utilizando metodologias que contemplem monitoramento e pesquisas contínuas sobre a dinâmica da matéria orgânica e da umidade,

a manutenção da integridade física e a evolução das capacidades de infiltrações dos solos em diferentes estágios de manejo. Neste contexto, a área de recarga deverá ser considerada unidade de gerenciamento no manejo da vegetação, através de estudos e monitoramento contínuo.

Conclusões

As amostras de solo coletadas em 21 localidades de diferentes formações florestais foram ordenadas em quatro grupos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, sendo o Grupo 1 representativo de áreas de vegetação nativa preservada e uma área desmatada e abandonada em recuperação e os demais grupos representativos de áreas de vegetação antropizada.

A média de umidade dos solos do Grupo 1 no período seco foi superior à média da umidade dos demais grupos, mesmo no período chuvoso.

A umidade do solo e as capacidades de infiltrações inicial e final apresentaram uma boa correlação linear com o teor de matéria orgânica.

O Grupo 1 apresentou maior conteúdo de matéria orgânica, umidade e capacidade de infiltração que as áreas de vegetação antropizada (Grupos 2, 3 e 4), permitindo um armazenamento hídrico e uma capacidade de infiltração mais eficaz.

No perfil de 80 cm, as áreas de manejo de eucalipto em diversas fases de crescimento, manejo de vegetação nativa com clareiras, cultivos abandonados e cerrados desmatados com solo exposto (Grupo 4) apresentaram maior variação de armazenamento de água no solo do período chuvoso para o seco. Em perfis mais profundos, as variações de armazenamento em todos os grupos não mostraram diferenças significativas.

O Grupo 1 apresentou maiores capacidades médias de infiltração inicial e final, diferindo estatisticamente dos demais grupos, que não mostraram diferenças significativas entre si.

O Grupo 4 apresentou menor conteúdo de matéria orgânica, umidade e capacidade de infiltração que os demais grupos, refletindo uma maior modificação na estrutura do solo capaz de reduzir a recarga nestas áreas.

A área de cerrado desmatada e abandonada em recuperação do Grupo 1 mostrou recuperação do ecossistema florestal da Chapada do Araripe por possuir maior manutenção do conteúdo de matéria orgânica e umidade dentre as localidades de vegetação antropizada.

Neste contexto, a diminuição da capacidade de infiltração contribui para diminuição da quantidade de água armazenada no solo, para o aumento de estresse hídrico na vegetação local, contribuindo com a redução da recarga do aquífero.

Assim, a antropização da vegetação na área sugere mudança gradual no balanço hídrico local provocado pela compactação dos solos através da degradação contínua por décadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama) – Crato, à Área de Proteção Ambiental (APA) – Chapada do

Araripe, à Faculdade de Tecnologia Centec – Cariri e à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (Cogerh) pelo apoio logístico e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) pelo suporte financeiro.

Referências

- BARBERA-CASTILLO, N.M. *Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica*. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001.
- BEST, A. *et al.* *A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flow and climatic variability*. Technical Report 25/03, 2003. Disponível em: <http://www.clw.csiro.au/publications/technical2003/tr25-03.pdf>. Acesso em 10 fev. 2009.
- CALOURO, F. *Atividades agrícolas e ambiente*. 1 ed. Porto. SPI (Sociedade Portuguesa de Inovação), 2005.
- CARVALHO, O.L. *et al.* *Tecnologia agrícola e de conservação ambiental para o topo da Chapada do Araripe*. Relatório Técnico Final. Fortaleza: BNB/Finep – Acep, 1999. 232 p.
- CAVALCANTI, A.C.; LOPES, O.F. *Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas*. Brasília: Embrapa, 1994.
- CAVENAGE, A. *et al.* Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. 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*, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- CHENG, J.D.; LIN, L.L.; LU, H.S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan, *Forest Ecology and Management*, v. 165, p. 11-28, 2002.
- DAVIES, B.E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter, *Soil Soil Science Society of America Journal.*, v. 38, p. 347-353, 1974.
- DIAS JUNIOR, M.S.; ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 23, p. 45-51, 1999.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. *Projeto de avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe*. Recife: DNPM, 1996.
- FORSYTHE, W. *Física de solos: manual de laboratório*. New York: University Press, 1975.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. *Monitoramento hidroambiental: download de séries históricas*. Disponível em <http://www.funceme.br/DEPAM/index.htm>. Acesso em: 6 nov. 2008.
- GOUDIE, A. *The human impact on the natural environment*. 4. ed. Oxford: Blackwell Publishers, 1993.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais climatológicas, 1961 – 1990*. Brasília: INMET, 1993.
- JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará*. Boletim Técnico, 28. Recife, MA/DNPEA – Sudene/DRN, v. 2, 1973.
- KEMPER, K.E.; GONÇALVES, J.Y.B.; BEZERRA, F.W.B. *Um sistema local de gerenciamento e alocação de água – o caso da fonte da Batateira no Cariri – Ceará, Brasil*. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Anais... Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1995. v.2. p. 63-68.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água, *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.
- KUCZERA, G. Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalyptus forest, *Journal of Hydrology*, n. 94, p. 215-236, 1987.
- LEITE, E.P.F.; FIGUEIREDO, M.A.; SILVA, Z.R. Avaliação da evapotranspiração real do solo em áreas desmatadas e não desmatadas na Chapada do Araripe no município de Santana do Cariri – Ceará, *Caatinga*, n. 7, p. 256-265, 1990.
- LEITE, J.A.; MEDINA, F.B. Efeito dos sistemas de manejo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo do Amazonas, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1417-1422, 1984.
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no solo*. 2. ed. Piracicaba: Esalq/ USP, 2000.
- LIMA, D.A. *Plantas das caatingas*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989.
- MAPA, R.B. Effect of reforestation using *Tectona grandis* on infiltration and soil water retention curve, *Forest Ecology and Management*, n. 77, p. 119-125, 1995.

MENDONÇA, L.A.R. *Recursos hídricos da Chapada do Araripe*. 193 p. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2001.

MUSCHLER, R.G. *Árboles en cafetales*. Turrialba, Costa Rica: Catie/GTZ, 2000.

ROBERTS, S.; VERTESSY, R.A.; GRAYSON, R. Transpiration from *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) forests of different age, *Forest Ecology and Management*, v. 143, n. 1, p. 153-161, 2001.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob

diferentes usos e manejos, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

VERTESSY, R.A.; WATSON, F.G.R.; O'SULLIVAN, S.K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests, *Forest Ecology and Management*, v. 143, n. 1, p. 13-26, 2001.

VERTESSY, R.A. et al. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest, *Tree Physiology*, v. 15, p. 559-567, 1995.