

**ATRIBUTOS HIDRODINÂMICOS E HIDROFOBICIDADE EM UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB MATA ATLÂNTICA
SECUNDÁRIA, PASTAGEM DEGRADADA E LEGUMINOSAS
ARBÓREAS**

PRISCILA GURGEL DO NASCIMENTO LOPES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO- 2017**

**ATRIBUTOS HIDRODINÂMICOS E HIDROFOBICIDADE EM UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB MATA ATLÂNTICA
SECUNDÁRIA, PASTAGEM DEGRADADA E LEGUMINOSAS
ARBÓREAS**

PRISCILA GURGEL DO NASCIMENTO LOPES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.”

Orientador: Prof. Cláudio Roberto Marciano

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO - 2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

028/2017

L864 Lopes, Priscila Gurgel do Nascimento.

Atributos hidrodinâmicos e hidrofobicidade em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob Mata Atlântica secundária, pastagem degradada e leguminosas arbóreas / Priscila Gurgel do Nascimento Lopes – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

vii, 71 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Bibliografia: f. 57 – 71.

Orientador: Cláudio Roberto Marciano.

1. Condutividade Hidráulica do Solo. 2. Sortividade de Água do Solo. 3. Solos Hidrofóbicos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 631.45

ATRIBUTOS HIDRODINÂMICOS E HIDROFOBICIDADE EM UM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB MATA ATLÂNTICA
SECUNDÁRIA, PASTAGEM DEGRADADA E LEGUMINOSAS
ARBÓREAS

PRISCILA GURGEL DO NASCIMENTO LOPES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.”

Aprovada em 31 de março de 2017.

Comissão Examinadora:

Prof. Vicente de Paulo Santos de Oliveira (D.Sc., Engenharia Agrícola) –
IFF/Campus Campos

Prof^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) - UENF

Prof^a Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF
Orientador

"Deleita-te também no Senhor, e te concederá os desejos do teu coração. Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e ele o fará"

(Salmos 37: 4-5)

Àqueles que, nem por um momento, deixaram de sonhar o meu sonho:
Aos meus pais Geraldo Eustáquio e Joana D'arc, à minha mãe do coração Fátima
Regina, meus irmãos Kamilly, Samyra e Neilson, e meus avós.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos concebidas e pela força necessária para a concretização desse trabalho;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade concedida para a realização de mais um sonho em minha carreira profissional;

Ao Professor Cláudio Roberto Marciano, por toda paciência, incentivo, aprendizagem passada e compromisso desde a graduação até aqui;

Aos Professores Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues e Luciana Aparecida Rodrigues, por terem aceitado participarem da banca e contribuído com sugestões que enriqueceram o trabalho;

Ao meu pai, Geraldo Eustáquio, à minha mãe Joana D'arc, e minha mãe do coração, Fátima Regina, que durante todos esses anos nunca deixaram de acreditar que venceria mais essa etapa, que a todo o momento proferiram palavras de incentivo e amor e que, em momento algum julgaram ou deixaram de apoiar minhas decisões. Obrigada por me amarem tanto!

Às minhas irmãs Kamilly, Samyra, ao meu irmão Neilson e meu cunhado-irmão Fred por me incluírem em todos os seus planos, mesmo estando quilômetros de distância, me fazendo presente e torcendo por mim a cada obstáculo que surgia;

E. Junior por ter sido uma companhia essencial em Campos, sempre me encorajando, ouvindo nos momentos de desespero e tentando me ajudar mesmo sendo uma área que não seja de seu domínio;

Aos colegas David Pessanha, Laila Canela, David Gomes por todo carinho, pelas conversas, risadas que alegam meu dia-a-dia e por dividirem comigo mais essa fase da minha vida. Sem vocês, o fardo seria mais pesado.

Aos colegas de laboratório Lucas, Ederaldo, André e a tia Rosa pelos momentos de intervalo sempre com cafezinho e um “dedo de prosa”;

Aos órgãos de apoio e fomento, Faperj e Capes;

Ao proprietário da fazenda Carrapeta, Sr. José Laércio Paixão Flores, que gentilmente nos cedeu seu espaço para a coleta das amostras de solo para realização deste trabalho, e, mais ainda, pela iniciativa de revegetação das áreas estudadas;

A todos, mesmo aqui não citados, mas que de alguma forma contribuíram com mais essa etapa de minha vida.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

Página

AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Degradação e qualidade dos solos no meio rural	4
2.2. Atributos hidrodinâmicos do solo	8
2.3. Hidrofobicidade em solos	14
2.4. Revegetação e qualidade do solo	18
2.4.1. Trabalhos realizados na área investigada, Conceição de Macabú, RJ	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Caracterização da área	23
3.2. Coleta de amostras de solo	24
3.3. Procedimento analítico para a obtenção dos atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados	27
3.4. Procedimento de cálculo para obtenção de atributos hidrodinâmicos em agregados	30
3.5. Procedimento de cálculo para a obtenção dos atributos de afinidade água-solo em agregados	34
3.6. Análises estatísticas	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

4.1. Atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados do horizonte superficial (A) do solo (camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade).....	37
4.2. Atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados do horizonte subsuperficial (Bt) do solo (camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade).....	51
5. RESUMO E CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

RESUMO

LOPES, Priscila Gurgel do Nascimento; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2017. Atributos hidrodinâmicos e hidrofobicidade em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob Mata Atlântica secundária, pastagem degradada e leguminosas arbóreas. Orientador: Prof. Cláudio Roberto Marciano.

Desmatamento, queima dos restos vegetais, uso intensivo da terra, monocultivo e condições inadequadas de manejo são fatores que levam à perda da qualidade agrícola e ambiental do solo. Quanto aos atributos físicos essa depreciação deve-se à compactação e à deterioração da estrutura do solo, as quais podem ser identificadas por modificações na densidade, porosidade total, distribuição dos poros por tamanho, entre outros. Consequências para a dinâmica da água também são esperadas, podendo ser avaliadas a partir da condutividade hidráulica na saturação (K_0) e da sortividade (S). Em 1994 o mini-infiltrômetro de tensão foi proposto e, desde então, tem sido utilizado para a obtenção de K_0 e S em agregados e, também, infiltrando-se água e etanol, do índice de hidrofobicidade (R) e ângulo de contato água-solo (α). Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre diferentes coberturas vegetais (Mata Atlântica secundária, pastagem degradada, acácia, ingá e sabiá) e atributos físicos que descrevem a dinâmica da água no solo e a afinidade água-solo, e identificar se, após 17 anos da revegetação com leguminosas arbóreas, houve a recuperação de tais atributos. A área localiza-se em Conceição de Macabú, no Norte Fluminense. Das camadas superficiais (de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m de

profundidade) foram coletadas 60 amostras de solo, sendo 12 amostras por área (seis cada camada). Das camadas profundas (de 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m) foram coletadas 20 amostras, sendo quatro por área (uma cada camada). Agregados com diâmetro médio de 25 mm foram utilizados para ensaios de infiltração com água e com etanol, sob as tensões 10, 20 e 30 mm de altura do respectivo líquido. Nas camadas superficiais foram utilizados nove agregados cada amostra (três por pensão), enquanto nas camadas profundas foram 15 agregados cada (cinco por pensão). A partir desses ensaios foram obtidos, para água e etanol, os valores de condutividade na saturação ($K_{0\text{-água}}$ e $K_{0\text{-etanol}}$), sortividade para atingir a saturação ($S_{0\text{-água}}$ e $S_{0\text{-etanol}}$) e a sortividade para atingir tensão de 0,20 kPa, ou 20 mm de água ($S_{20\text{-água}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$). Os valores intrínsecos destas variáveis também foram obtidos ($k_{i\text{-água}}$, $k_{i\text{-etanol}}$, $S_{i\text{-água}}$, $S_{i\text{-etanol}}$, $S_{i20\text{-água}}$, $S_{i20\text{-etanol}}$), assim como o índice R e o ângulo α de contato água-solo. A $K_{0\text{-água}}$ variou entre 20,4 (sabiá) e 1453,8 mm h⁻¹ (pasto) na camada de 0-0,10 m, e entre 42,4 (sabiá) e 822,8 mm h⁻¹ (ingá) na camada 0,10-0,20 m. Para $S_{0\text{-água}}$ pôde-se verificar comportamento estatístico (em resposta às coberturas vegetais e camadas do solo) semelhante ao de $K_{0\text{-água}}$. Para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m os ensaios com etanol foram bastante distintos daqueles com água. Para a $K_{0\text{-etanol}}$, os valores não diferiram nem entre as coberturas vegetais, nem entre as camadas estudadas. Para a sortividade ($S_{0\text{-etanol}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$) verificou-se, em ambas as camadas, que os maiores valores ocorreram no pasto e capoeira e os menores nas demais coberturas arbóreas. O índice R diferiu entre as coberturas vegetais em ambas as camadas, com valores entre 8,43 (sabiá) e 1,12 (pasto) na camada de 0-0,10 m e entre 7,97 (capoeira) e 1,33 (acácia) na camada 0,10-0,20 m, revelando predominância de condições hidrofóbicas ($R > 1,95$). O ângulo de contato variou entre 24,3° (pasto) e 82,6° (sabiá) na camada de 0-0,10 m, e entre 38,0° (acácia) e 80,4° (capoeira) na camada 0,10-0,20 m (sendo que $\alpha > 59^\circ$ revela condições hidrofóbicas). Ainda para as camadas superficiais 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, nenhum atributo de dinâmica da água ou de etanol apresentou correlação significativa com as frações granulométricas. Quanto aos atributos estruturais do solo, enquanto para $K_{0\text{-etanol}}$ e $k_{i\text{-etanol}}$ não houve correlações significativas, para $K_{0\text{-água}}$ e $k_{i\text{-água}}$ estas ocorreram, mas com sinal inverso ao esperado, positivo para densidade e microporosidade e negativo para porosidade total e macroporosidade, possivelmente em

consequência da hidrofobicidade. Correlações significativas negativas com alguns atributos químicos revelam que a maior atividade química do solo interferiu negativamente na afinidade água-solo (talvez porque, no presente caso, essa atividade química é determinada majoritariamente pela matéria orgânica). Nas camadas profundas (de 0,20 a 1,00 m), condutividade e sortividade de água foram muito variáveis, com os maiores valores na capoeira e sabiá e os menores no pasto e ingá, e sem correlações significativas com nenhum atributo físico relacionado à matriz ou à estrutura do solo. Para o etanol, condutividade e sortividade variaram menos entre as coberturas vegetais e também não apresentaram correlações significativas com as frações granulométricas. Com os atributos estruturais do solo houve correlações significativas e, nesse caso, com sinal conforme esperado, negativo para densidade e microporosidade e positivo para porosidade total e macroporosidade. Isso se justifica pela redução da hidrofobicidade nessas camadas profundas, em que os valores médios de R e α foram 1,89 e 49,7°, respectivamente (e em que os teores de matéria orgânica são também menores). Para o índice R e o ângulo de contato as correlações também foram não significativas para os atributos relacionados à matriz e significativas para os relacionados à estrutura do solo. Como, nas camadas superficiais, o solo sob vegetação nativa, mesmo mais poroso, apresentou valores de atributos hidrodinâmicos inferiores aos dos solos sob pastagem (menos poroso, fisicamente degradado pela remoção da vegetação e uso agropecuário), pôde-se concluir que, ao menos em parte, isso se deve aos níveis de hidrofobicidade mais elevados sob mata do que sob pastagem. Como o solo sob as leguminosas arbóreas estudadas apresentou valores dos atributos hidrodinâmicos e da afinidade água-solo intermediários, mais próximos daqueles do solo da área preservada do que daqueles do solo sob pastagem, pôde-se concluir também que a revegetação com essas espécies leva a uma expressiva recuperação de sua condição natural e, possivelmente, ao reestabelecimento de sua capacidade de exercer a função ecológica que tinha antes da degradação.

ABSTRACT

LOPES, Priscila Gurgel do Nascimento; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2017. Hydrodynamic attributes and hydrophobicity of a Kandudult soil under secondary Atlantic Forest, degraded pasture and leguminous trees. Advisor: Prof. Cláudio Roberto Marciano.

Deforestation, burning of plant residues, intensive land use, monoculture and inadequate crop management are factors that lead to the loss of agricultural and environmental quality of the soil. Regarding physical attributes, this depreciation is due to the compaction and deterioration of the soil structure, which can be identified by changes in bulk density, total porosity, pore size distribution, among others. Consequences for water dynamics are also expected, and can be evaluated from hydraulic conductivity at saturation (K_0) and sorptivity (S). In 1994, the mini tension infiltrometer was proposed and since then, it has been used to obtain K_0 and S in aggregates, and also, by infiltrating water and ethanol, the hydrophobicity index (R) and water-soil contact angle (α). This work aimed to evaluate the relationship between different vegetation covers (secondary Atlantic forest, degraded pasture, and three leguminous trees - acácia, ingá and sabiá) and physical attributes that describe soil water dynamics and water-soil affinity, and it aimed also to verify, after 17 years of revegetation with those leguminous, if there was recovery of such attributes. The area is located in Conceição de Macabú, in the Northern of Rio de Janeiro State, Brazil. From the superficial layers (0-0.10 m and 0.10-0.20 m depth) 60 soil samples were collected, 12 samples per

area (six from each layer). From the deep layers (0.20-0.40 m, 0.40-0.60 m, 0.60-0.80 m, and 0.80-1.00 m deep), 20 samples were collected, four per area (one from each layer). Aggregates with diameter about 25 mm were used for water and ethanol infiltration tests under tensions of 10, 20 and 30 mm height from each liquid. In the superficial layers nine aggregates were used in each sample (three per tension), while in the deep layers were 15 aggregates each one (five per tension). From these tests it was obtained, for water and ethanol, the values of conductivity at saturation ($K_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ and $K_{0\text{-}\text{etanol}}$), sorptivity to reach saturation ($S_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ and $S_{0\text{-}\text{etanol}}$) and sorptivity to reach the tension of 0.20 kPa or 20 mm height water ($S_{20\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ and $S_{20\text{-}\text{etanol}}$). The intrinsic values of these variables were also obtained ($k_{i\text{-}\acute{a}\text{gua}}$, $k_{i\text{-}\text{etanol}}$, $S_{i\text{-}\acute{a}\text{gua}}$, $S_{i\text{-}\text{etanol}}$, $S_{i20\text{-}\acute{a}\text{gua}}$, $S_{i20\text{-}\text{etanol}}$), as well as the R index and the α contact angle. $K_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ ranged from 20.4 (sabiá) to 1453.8 mm h⁻¹ (pasture) in the 0-0.10 m layer, and from 42.4 (sabiá) to 822.8 mm h⁻¹ (ingá) in the 0.10-0.20 m layer. For $S_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ it was possible to verify statistical behavior (in response to vegetation covers and soil layers) similar to $K_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$. For the 0-0.10 m and 0.10-0.20 m layers the ethanol tests were quite different from those with water. For $K_{0\text{-}\text{etanol}}$, the values did not differ between the vegetation covers and between the studied layers. For the sorptivity ($S_{0\text{-}\text{etanol}}$ and $S_{20\text{-}\text{etanol}}$) it was verified, in both layers, that the highest values occurred in pasture and natural forest and the lowest values in the other tree coverings. The R index differed between the vegetation covers in both layers, with values between 8.43 (sabiá) and 1.12 (pasture) in the 0-0.10 m layer and between 7.97 (natural forest) and 1.33 (acácia) in the 0.10-0.20 m layer, showing predominance of hydrophobic conditions ($R > 1.95$). The contact angle varied between 24.3° (pasture) and 82.6° (sabiá) in the 0-0.10 m layer, and between 38.0° (acácia) and 80.4° (natural forest) in the layer 0.10-0.20 m (where $\alpha > 59^\circ$ reveals hydrophobic conditions). Also for the surface layers 0-0.10 and 0.10-0.20 m, no attribute of water or ethanol dynamics showed a significant correlation with the granulometric fractions. Regarding structural attributes of the soil, there were no significant correlations with $K_{0\text{-}\text{etanol}}$ and $k_{i\text{-}\text{etanol}}$, but such ones occurred with $K_{0\text{-}\acute{a}\text{gua}}$ and $k_{i\text{-}\acute{a}\text{gua}}$, however with an opposite to expected signal, positive for bulk density and microporosity and negative for total porosity and macroporosity, possibly as a consequence of hydrophobicity. Significant negative correlations among structural attributes and some chemical attributes revealed that the higher soil chemical activity interfered negatively in the

water-soil affinity (perhaps because, in the present case, this chemical activity is determined mainly by organic matter). Such as in surface layers, the water conductivity and sorptivity in the deep layers (from 0.20 to 1.00 m) were also very variable, but with the highest values in natural forest and *sabiá* and the lowest in the pasture and *ingá*, and with no significant correlation with attributes related to the matrix or the structure of the soil. For ethanol, conductivity and sorptivity varied less between the vegetation cover and did not present significant correlations with the granulometric fractions. On the other hand, significant correlations occurred among those variables and soil structural attributes, and, in this case, with signal as expected, negative for bulk density and microporosity and positive for total porosity and macroporosity. This behavior is justified by the reduction of hydrophobicity in the soil deep layers, where the mean values of R index and α contact angle were 1.89 and 49.7° , respectively (and in which the organic matter content were also lower). For the R index and the α contact angle there were no significant correlations with the attributes related to the soil matrix, but such ones occurred with attributes related to the soil structure. Since the soil surface layers under native vegetation, although more porous, presented values of hydrodynamic attributes lower than the soils under pasture (less porous, and physically degraded by the vegetation removal and agricultural use), it was concluded that, at least in part, it is due to higher hydrophobicity levels under forest than under pasture. Considering that the soil under the studied leguminous trees presented values of hydrodynamic and water-soil affinity attributes closer to those ones of the soil under forest and far from those ones of that soil under pasture, it was also concluded that revegetation with these plant species lead to an expressive recovery of natural condition of soil and, possibly, to the reestablishment of its ability to exert the ecological function it had before degradation.

1. INTRODUÇÃO

Desmatamento, queima dos restos vegetais, uso intensivo da terra, monocultivo, condições inadequadas de manejo, entre outros, são fatores que concorrem para a degradação dos solos. Em relação aos atributos físicos essa deterioração se deve, principalmente, à compactação, que causa modificações consideráveis na estrutura do solo, as quais variam de acordo com a textura e a natureza química e mineralógica da matriz do solo. Tais modificações têm reflexos na densidade, porosidade, resistência do solo à penetração, distribuição dos agregados em tamanhos e sua estabilidade física e, ainda, nos diversos processos dinâmicos (de água, ar, calor, nutrientes, contaminantes, entre outros) que têm lugar no solo (Curtis e Post, 1964; Coote e Ramsey, 1983; Lal, 1996; Hajabbasi et al., 1997; Emadi et al., 2008; Cardoso et al., 2011; Torres et al., 2011; Suzuki et al., 2012).

A quantificação e a compreensão das alterações físicas do solo devidas ao seu uso e manejo são fundamentais para o estabelecimento de sistemas agrícolas e práticas de manejo sustentáveis, propiciando condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (Dexter e Youngs, 1992; Doran e Parkin, 1994). Em solos fisicamente pobres (ou fisicamente degradados), comumente a quantidade de água disponível às plantas é pequena e, mesmo que a condição hídrica do solo se mantenha, ao longo do tempo, na faixa da água disponível, as magnitudes da resistência do solo à penetração de raízes e da taxa

de difusão de oxigênio podem limitar o crescimento das plantas (Letey, 1985). A compactação é determinante para as relações entre ar, água e temperatura do solo (Reichert et al., 2007), de modo que os diversos processos de dinâmica em solos compactados em geral ocorrem de forma e/ou em intensidade distinta daquelas de um solo com boa qualidade física.

A revegetação de áreas degradadas é uma prática tida como eficiente para recuperar a qualidade do solo, em seus aspectos químicos, biológicos e físicos. Diversos autores (Zaia et al., 2008; Stürmer et al., 2011; Rita et al., 2013; Costa et al., 2014; Nunes et al., 2016; Gomes, 2016; Sena et al., 2017) demonstram que a revegetação pode levar as condições físicas, químicas e biológicas dos solos a tornarem-se cada vez mais parecidas àquelas dos solos sob floresta nativa, fato normalmente associado à atuação do sistema radicular, à elevação do teor de matéria orgânica e ao aumento da atividade da biota do solo.

A manutenção de boa estrutura do solo (ou seja, elevada proporção de agregados, sendo estes de alta estabilidade) é primordial para garantir a produtividade das culturas (Corrêa, 2002), visto que ela controla os movimentos internos de água, ar, calor e o crescimento de raízes (Vasconcelos et al., 2010). Comparados a solos sob cultivo agrícola ou pastagem, os de áreas reflorestadas normalmente têm melhor estrutura e apresentam-se menos compactados, com valores menores de densidade e maiores de porosidade total e macroporosidade (Alves et al., 2007; Bonini et al., 2012, Gomes, 2016; Sena et al., 2017) e, conseqüentemente, têm incrementos em atributos como velocidade de infiltração básica (VIB) e condutividade hidráulica na saturação (K_0) (Alves et al., 2007; Abrão et al., 2015; Marín-Castro et al., 2016). A ocorrência dessa relação inversa entre compactação do solo e atributos hidrodinâmicos se fundamenta na Lei de Poiseuille, pela qual a vazão de líquido em um tubo capilar relaciona-se diretamente à quarta potência de seu raio (Libardi, 2005). A magnitude de K_0 , por exemplo, é determinada majoritariamente pelos poros de maior diâmetro, justamente os primeiros cuja quantidade é reduzida com a compactação do solo (Suzuki et al., 2012), de modo que são predominantes os resultados mostrando redução de K_0 com aumento da densidade do solo (Leeds-Harrison e Youngs, 1997; Sales et al., 1999; Stone et al., 2002, Antonino et al., 2004; Fuentes et al., 2005; Kamimura et al., 2009; Suzuki et al., 2012).

No entanto, nem sempre os atributos hidrodinâmicos se correlacionam com outros atributos físicos do solo conforme esperado. Lozano et al. (2014), estudando dois solos, um de textura franca e outro franco-arenosa, verificaram que os valores de K_0 não seguiram tendência coerente com os de densidade e de macroporosidade, justificando que tal fato pode estar associado a diferenças na distribuição por tamanho ou conectividade dos poros. Por outro lado, como vários autores têm identificado a ocorrência de hidrorrepelência em solos, geralmente associando-a ao revestimento das partículas minerais por substâncias orgânicas hidrofóbicas (Hallet, 2008; Vogelmann et al., 2010; Mataix-Solera et al., 2011; Vogelmann et al., 2013; Vogelmann et al., 2015), é possível que esta seja a causa de parte das citadas relações inesperadas entre compactação e outros atributos físicos do solo. A ocorrência de hidrofobicidade varia com que o ângulo de contato água-solo, usualmente assumido como $\alpha = 0^\circ$ em função das partículas serem consideradas perfeitamente hidrofílicas (Libardi, 2005; Lozano et al., 2014), assumisse valores muito superiores a zero e, mesmo, superiores a 90° (Goebel et al., 2004; Bastos et al., 2005, Dekker et al., 2009), de forma a interferir sobremaneira tanto na retenção quanto na dinâmica da água no solo (Hallett e Young, 1999; Hallett et al., 2003; Lipiec et al., 2009).

Para a avaliação de atributos hidrodinâmicos em agregados do solo, trabalhos recentes têm utilizado o mini-infiltrômetro de tensão. O equipamento foi desenvolvido com o objetivo inicial de caracterizar a infiltração, a condutividade hidráulica e sortividade dos solos na saturação e sob baixas tensões (Leeds-Harrison et al., 1994; Leeds-Harrison e Youngs, 1997; Lipiec et al., 2009), mas em outros trabalhos tem sido utilizado para a identificação de hidrorrepelência em solos, mediante obtenção do índice de hidrofobicidade (R) e ângulo de contato água-solo (α) (Hallett e Young, 1999; Hallett et al., 2003; Vogelmann, 2011).

Diante do exposto, e a partir dos resultados obtidos em ensaios de infiltração realizados com um mini-infiltrômetro de tensão em agregados naturais de um Argissolo Vermelho-Amarelo do Norte Fluminense, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre diferentes coberturas vegetais (Mata Atlântica secundária, pastagem degradada, acácia, ingá e sabiá) e atributos físicos que descrevem a dinâmica da água no solo e a afinidade água-solo, e verificar se, após 17 anos da revegetação com leguminosas arbóreas, houve a recuperação de tais atributos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Degradação e qualidade dos solos no meio rural

A utilização dos recursos naturais pelo homem ocorre em tal intensidade que 33% da superfície da terra encontram-se como áreas degradadas (FAO, 2015). Desmatamento, manejo inadequado na agricultura, exploração extrativista e superpastejo frequentemente são as causas de degradação mais apontadas para o meio rural (Oldeman e Lynden, 1998), enquanto para o meio urbano outras causas poderiam ser mencionadas.

A degradação de uma área tem início quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou enterradas. No entanto, a degradação ambiental acontece quando há perda das características físicas, químicas e biológicas de uma área, afetando seu potencial sócioeconômico (IBAMA, 1990).

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, em sua condição nativa. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do solo (com intenso revolvimento) do que nos conservacionistas (com mínimo revolvimento), e se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas (Bertol et al., 2004).

Medidas conservacionistas têm sido adotadas com o intuito de manter a qualidade e produtividade agrícola dos solos, dentre elas destacando-se o plantio

direto, a introdução de espécies leguminosas em áreas degradadas e a manutenção da matéria orgânica do solo.

Matsuoka et al. (2003), avaliando a biomassa e a atividade microbiana de um Latossolo Vermelho-Amarelo, na região de Primavera do Leste (MT), sob vegetação nativa, cultivos anuais e perenes, concluíram que os sistemas de uso do solo com culturas perenes e anuais reduzem o carbono da biomassa microbiana, em relação a áreas sob vegetação nativa.

Moreira et al. (2005) avaliaram alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado, encontrando na área de pastagem recuperada, para os atributos químicos, maiores valores de pH, de matéria orgânica no solo e dos teores de macronutrientes e micronutrientes, e para os atributos físicos, maiores valores de macroporosidade e porosidade total e menores valores de densidade do solo e de resistência à penetração, em comparação à área de pastagem degradada.

Trabalhando na Baixada Campista, no Norte Fluminense, em diversas áreas de extração de argila para uso cerâmico, Valicheski e Marciano (2008) avaliaram atributos químicos e a composição granulométrica do solo residual, buscando identificar os possíveis impedimentos edáficos para a revegetação dessas áreas após a extração, e concluíram que, em muitos casos, a remoção da camada de solo de interesse cerâmico expõe à superfície horizontes com caráter solódico, sódico, salino, sálico, os quais representam uma barreira química para o desenvolvimento das plantas, tornando-se possível somente a implantação de espécies que apresentam tolerância à salinidade e sodicidade.

Batista et al. (2008), também trabalhando em uma área degradada pela extração de argila da Baixada Campista, porém revegetada com espécies de eucalipto e com sabiá, verificaram que a revegetação das áreas degradadas é uma prática viável para melhorar a qualidade biológica do solo.

A rápida degradação dos solos sob uso agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (Lal e Pirce, 1991). A avaliação da extensão de áreas degradadas é um processo complexo, pois o conceito de solo degradado não está claramente definido (Ferreira et al., 2007). Em geral admite-se que um ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios, teve eliminados, com a

vegetação, os seus meios de regeneração biótica. Seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser bastante lento, de modo que, nesse caso, a ação antrópica é necessária para a sua regeneração em curto prazo (Dias e Griffith, 1998).

O estado de conservação ou degradação de uma área pode ser avaliado pela observação *in loco* da condição dos componentes do ecossistema em apreciação. Para o componente solo, atributos de natureza química, física e biológica podem ser utilizados para indicadores dessa condição, porém nenhum deles conseguirá, individualmente, descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo, pois as relações entre os atributos são complexas (Stenberg, 1999). Além disso, tais indicadores são intimamente relacionados entre si, podendo-se citar, como exemplo, que a atividade biológica é altamente dependente de fatores físicos e químicos do solo (pH, nutrientes, íons tóxicos, água, ar, calor, etc.). Apesar disso, conhecer a parcela com que cada um desses fatores contribui para a qualidade do solo, e identificar os mais relevantes, é importante para implantar ou adequar práticas de manejo que tornem os ecossistemas mais funcionais.

Densidade, porosidade, curva característica de retenção de água, resistência à penetração, taxa de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica são os atributos físicos mais propostos como indicadores básicos na avaliação da qualidade do solo (Doran e Parkin, 1994; Stenberg, 1999; Imhoff et al., 2000; Balbino et al., 2004). A composição granulométrica é também muito relevante para a definição da qualidade dos solos, mas não serve para avaliar o estado de degradação ou recuperação de um solo específico, pois é um atributo que não se altera em função do uso e manejo, mesmo em médio prazo (Ferreira, 2010; Gomes, 2016).

A densidade do solo, definida como o quociente de sua massa de sólidos por seu volume total, é afetada pela ação antrópica nos cultivos, em que se utilizam máquinas e implementos, ou por causas naturais, como a eluviação de argilas (Klein, 2006). De maneira similar à densidade, a porosidade do solo também sofre alterações com a degradação estrutural. Para Bueno e Vilar (1998), a compactação é entendida como a ação mecânica, por meio da qual há a redução da porosidade, o aumento da resistência ao cisalhamento e a redução da compressibilidade e da permeabilidade. Esse fenômeno pode ser explicado

levando-se em conta a grande influência que a água intersticial exerce sobre os solos.

Em solos que sofrem degradação de sua estrutura, uma consequência é a redução da porosidade total (e da macroporosidade) e o concomitante aumento da densidade. Uma boa qualidade estrutural do solo contempla uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e uma adequada capacidade de infiltração da água, que é considerada como o fenômeno que melhor reflete as condições físicas internas do solo (Alves e Cabeda, 1999).

Condições físicas restritivas às plantas reduzem a capacidade produtiva dos solos e a sustentabilidade ambiental. Dentre essas condições físicas, as complexas e dinâmicas interações entre temperatura do solo, resistência do solo à penetração, aeração e disponibilidade de água alteram diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (Letey, 1985; Lima et al., 2012).

Em virtude da complexa interação entre os fatores físicos, para cada condição estrutural do solo existe uma faixa ótima de umidade que favorece o crescimento vegetal (Letey, 1985). Silva et al. (1994) propuseram uma sequência analítica para determinação dos limites dessa faixa, que no Brasil foi denominada intervalo hídrico ótimo (IHO). Como tais limites, esse índice considera as umidades onde as limitações ao crescimento vegetal, associadas à disponibilidade de água, aeração e resistência mecânica à penetração de raízes, são minimizadas. O IHO serve como indicativo da qualidade física do solo, que será maior quanto amplo for o intervalo. Conhecendo-se a relação entre IHO e densidade do solo pode-se adotar práticas de manejo para adequar a densidade (e a porosidade), aumentando a água disponível às plantas e a aeração do solo e reduzindo a resistência mecânica à penetração de raízes.

Em relação aos atributos físicos relacionados à dinâmica da água, estes também são expressivamente alterados pela degradação dos solos e podem servir como indicadores da qualidade do solo, sendo tratados mais detidamente no item subsequente.

A recuperação de áreas degradadas é um processo e, como tal, é composto por várias etapas sequenciais que devem ser desenvolvidas em conjunto, devendo ser avaliado por meio de indicadores de recuperação, até que se chegue ao resultado final, que é restabelecer o seu potencial de produção (Santos et al., 2001).

2.2. Atributos hidrodinâmicos do solo

Temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica são condições ecológicas que determinam o ambiente local, sendo a entrada e o movimento da água no solo condicionados por diversos fatores, dentre estes: porosidade, densidade, textura, grau de agregação, selamento superficial, umidade inicial, matéria orgânica, estrutura, variabilidade espacial do terreno e cobertura vegetal (Klar, 1984; Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Araújo Filho e Ribeiro, 1996).

A infiltração é o processo pelo qual ocorre a entrada de água no solo através da sua superfície. Sua intensidade decresce com o tempo, de forma mais pronunciada quanto menor for a umidade inicial do perfil, até que assume um valor constante denominado velocidade de infiltração básica (VIB) (Pott e Maria, 2003). A determinação da VIB é usualmente feita no campo, sendo seu valor considerado uma estimativa equivalente ao da condutividade hidráulica do solo saturado (Libardi, 2005), sendo essa determinação comumente utilizada em projetos de irrigação, para determinar o escoamento superficial para a elaboração e dimensionamentos de drenos, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica (Pruski et al., 2001).

Em relação ao movimento da água no solo, que tem lugar no interior de seu espaço poroso, a velocidade com que esse deslocamento ocorre, uma dada direção, é chamada densidade de fluxo de água ou, simplesmente, fluxo (q), o qual representa o volume de água que atravessa o solo por unidade de tempo (ou seja, a vazão) e por unidade de área (Libardi, 2005). Havendo tal fluxo, este se dá em resposta à existência de um gradiente de potencial total ($\text{grad } \phi_t$), que é o quociente entre a diferença de potencial total em dois pontos (localizados acima e abaixo do plano transversal à direção do fluxo) e a distância (infinitesimal) entre esses pontos. Na equação que representa a Lei de Darcy, a condutividade hidráulica do solo (K) aparece como fator de proporcionalidade entre a densidade de fluxo e o gradiente de potencial total:

$$q = -K \cdot \text{grad} \phi_t \quad (1)$$

A condutividade hidráulica é uma propriedade do solo que representa a rapidez com que a água se desloca no solo sob gradiente unitário (nessa

condição, é numericamente igual ao fluxo de água). Para um solo específico e em uma condição estrutural específica, varia em função da umidade, sendo esta relação chamada de função condutividade hidráulica do solo, ou função $K(\theta)$. Para o solo saturado assume um valor constante, K_0 , chamado condutividade hidráulica do solo saturado. Para solos distintos - ou para um dado solo, porém sob condições estruturais diferentes - a função $K(\theta)$ assume formatos específicos e a constante K_0 valores específicos, intimamente relacionados às muitas possibilidades de arranjo estrutural do solo e da resultante geometria de seu espaço poroso.

A condutividade hidráulica, sendo uma variável que descreve um determinado aspecto da interação água-solo, obviamente depende tanto dos atributos do solo quanto dos atributos da água. Em relação à água, o aspecto relevante a ser considerado é a viscosidade η (Libardi, 2005), sendo que quando esta aumenta (em função, por exemplo, da redução da temperatura) o fluxo de água e a condutividade hidráulica diminuem, e vice-versa. Com tal consideração, a equação da Lei de Darcy poderia ser reescrita como:

$$q = -\frac{k_i}{\eta} \cdot \text{grad}\phi_t \quad (2)$$

sendo k_i a condutividade (ou permeabilidade) intrínseca do solo, a qual reflete exclusivamente a contribuição do solo para a condutividade hidráulica, devendo seu valor ser o mesmo independente do fluido utilizado (Libardi, 2005). Das equações 1 e 2 acima tem-se, por óbvio, que:

$$k_i = \eta \cdot K \quad (3)$$

A sortividade (S), por outro lado, é um atributo hidrodinâmico que indica a capacidade de um solo absorver água em relação à sua umidade inicial, até atingir a saturação (ou outra uma umidade final qualquer), por efeito das forças capilares, ou seja, em resposta ao gradiente de potencial mátrico (Philip, 1957; Libardi, 2005; Leeds-Harrison e Youngs, 1997). Matematicamente a sortividade corresponde à integral definida (entre as umidades inicial e final) da função que descreve a variação da umidade em função do tempo, durante o processo de

infiltração de água no solo. Assim como K , a sortividade é uma variável que descreve um aspecto da interação água-solo e, obviamente, depende de atributos de ambos. Similarmente ao descrito para K , a variável que representa a contribuição específica do solo para a sortividade é chamada de sortividade intrínseca (Tillman et al., 1989), ou S_i . Para a individualização da S_i há que se considerar a contribuição dos atributos da água que sejam relevantes, sendo estes a viscosidade η e a tensão superficial σ (Tillman et al., 1989), de tal forma que S_i pode ser obtida a partir da equação:

$$S_i = \left(\frac{\eta}{\sigma} \right)^{1/2} \cdot S \quad (4)$$

A determinação dos atributos hidrodinâmicos acima mencionados e tratados em seus aspectos teóricos demanda a realização, em campo ou laboratório, de ensaios de infiltração com equipamentos desenvolvidos para tal. Permeâmetro de Guelph, infiltrômetro de tensão (ou de disco) e infiltrômetro de duplo anel (ou de anéis concêntricos) são alguns dos equipamentos mais empregados no campo. Dentre esses, o infiltrômetro de duplo anel é o mais utilizado, consistindo de dois anéis concêntricos com altura de 40 cm e diâmetro de 30 e 50 cm para os anéis interno e externo, respectivamente. O anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominante vertical, o que evita superestimativa da taxa de infiltração. Os dois cilindros são cravados até 15 cm de profundidade e durante a realização dos testes dentro do cilindro interno é mantida uma carga de água constante de aproximadamente 15 cm em relação à superfície do solo, que é mantida por controle manual por um registro de ação rápida, devidamente ajustado a uma fonte de água que alimenta o cilindro interno e o externo (Bernardo et al., 2008).

Bono et al. (2005), comparando diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que a VIB (obtida pelo infiltrômetro de duplo anel) foi menor sob lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária, comparativamente ao solo sob vegetação nativa de Cerrado. Verifica-se correlações positivas e significativas da VIB com a macroporosidade do solo em todos os sistemas de manejos estudados, concluindo que a infiltração

de água no solo é um bom indicador dos efeitos da compactação do solo em função dos sistemas de manejo.

Alvarenga et al. (2011), estudando a continuidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado obtida com infiltrômetro de disco, na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG, verificaram alta variabilidade e ocorrência de pontos discrepantes e anisotropia dos dados originais, e que a utilização da transformação logarítmica dos mesmos reduziu tais problemas e permitiu melhor detalhamento da distribuição espacial, embora com redução do grau de dependência nos dados.

Marciano et al. (2001) estudaram o efeito da incorporação de doses de lodo de esgoto e de composto de lixo sobre a condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado, determinados *in situ* utilizando o infiltrômetro de tensão, em área experimental cultivada com cana-de-açúcar. Comparando as parcelas dos tratamentos com doses de lodo de esgoto às parcelas dos tratamentos com doses de composto de lixo, observaram que, no segundo ano, as primeiras apresentaram condutividade hidráulica superior à das últimas, para os potenciais mátricos -0,25 e -0,50 kPa. A variabilidade da condutividade foi maior para o solo saturado, justificando que nessa condição, apesar das diferenças numéricas entre os valores médios, não houvesse diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Klein e Libardi (2002) determinaram a condutividade hidráulica em função da umidade, ou função $K(\theta)$, de um Latossolo Roxo (atualmente Latossolo Vermelho com caráter férrico), sob três condições de uso e manejo: plantio direto sem irrigação, plantio direto irrigado e mata natural. Para a determinação, a campo, da função $K(\theta)$ foi empregado o método do perfil instantâneo, tendo sido instalados três tensiômetros em cada tratamento. Para determinar a função $K(\theta)$ em laboratório, monólitos do perfil do solo foram coletados utilizando-se tubos de PVC de 0,20 m de diâmetro e 1,00 m de comprimento. Observou-se, no referido trabalho, pela diferença nos valores do coeficiente angular das equações de ajuste, que houve diferença no comportamento da condutividade hidráulica próxima à saturação, governado pelo potencial gravitacional, em relação à outra fase na qual o potencial mátrico governa o movimento. A partir disso, os autores concluíram que o procedimento experimental tradicional do método do perfil instantâneo a campo não permite avaliar corretamente a função $K(\theta)$ para conteúdos de água do solo próximos à saturação. Por outro lado, concluíram que,

a determinação da função $K(\theta)$ nessa faixa de conteúdo de água próximo à saturação pode ser feita no laboratório, usando-se amostras grandes de solo com estrutura preservada, permitindo complementar os dados do método do perfil instantâneo a campo.

Para a medição em laboratório da taxa de infiltração tradicionalmente são utilizadas amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos de Uhland (com cerca de 300 mL) e os equipamentos denominados permeâmetro de carga constante (Embrapa, 1997) e permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2005). Mello Filho et al (2007), trabalhando em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural de Mata Atlântica, em Cruz das Almas, BA, para obter um índice de qualidade do solo em subsuperfície, verificaram que a condutividade hidráulica na saturação determinada com o permeâmetro de carga decrescente foi responsável, juntamente com a macroporosidade, pela maior parte do componente da função relacionado à capacidade de condução e armazenamento de água.

Lobato et al. (1998), trabalhando em laboratório com colunas remoldadas de solo, verificaram que a aplicação de vinhaça no dia anterior à realização de testes de infiltração com água levou à redução dos valores de condutividade hidráulica do solo saturado em torno de 22% para as lâminas 100, 200 e 400 mm e de 52% para lâminas de 60 e 100 mm (comparativamente a colunas que haviam recebido lâminas de água ao invés de vinhaça). Os autores justificam que tais resultados decorreriam da acumulação dos sólidos em suspensão no líquido ao longo do perfil que recebeu vinhaça, formando uma camada de alta impedância hidráulica, tendo sido inclusive verificado que no tratamento com 100 mm de vinhaça a umidade do solo na saturação, de $0,413 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, foi inferior à do tratamento sem vinhaça (com 100 mm de água), de $0,424 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Marín-Castro et al. (2016), estudando a distribuição espacial da condutividade hidráulica do solo saturado sob floresta tropical de montanha e em agroecossistemas com café no México, utilizaram um infiltrômetro de duplo anel com 0,15 m de diâmetro para aumentar a amostragem da área e obter uma maior heterogeneidade, realizaram o teste de infiltração em 53 pontos por parcela (floresta tropical e agroecossistemas), observando uma alta condutividade hidráulica em ambos os ambientes, porém significativamente menor no agroecossistema.

Estudando a influência das árvores da espécie *Acacia raddiana* nas propriedades hidráulicas na superfície de um solo árido na Tunísia, que sofreu durante mais de um século com a exploração excessiva dos recursos naturais e a intensificação das atividades agrícolas, Boever et al. (2016) realizaram análises granulométricas, medições de infiltrações utilizando o infiltrômetro de disco e densidade aparente, debaixo e no exterior da copa de 30 árvores, encontrando nos solos abaixo da copa maior teor de matéria orgânica, menor densidade aparente e uma porosidade total mais elevada. Maiores condutividades hidráulicas também foram encontradas abaixo da copa em comparação com o exterior, as quais aumentaram com o tamanho da copa.

O mini-infiltrômetro de tensão, que permite a realização em laboratório de ensaios de infiltração de água em agregados de solo, foi desenvolvido na década de 1990, a partir dos trabalhos desenvolvidos por Leeds-Harrison et al. (1994) e Leeds-Harrison e Youngs (1997). O equipamento consiste de um pequeno tubo em “U” invertido, em que uma extremidade está conectada a um reservatório de água e a outra, posicionada no mesmo nível da superfície da água ou pouco acima, possui uma pequena esponja saturada na qual a água encontra-se sob tensão zero e de alguns milímetros de coluna de água (dependendo do desnível em relação à superfície da água). Quando o agregado seco entra em contato com a esponja da ponta livre do infiltrômetro, este agregado absorve água de forma cumulativa, fazendo-a ascender pela ponta do tubo que se encontra no reservatório, sustentando a infiltração de água no agregado em uma taxa correspondente ao quociente entre a variação no peso do reservatório sobre a balança e o intervalo de tempo.

Leeds-Harrison et al. (1994) inicialmente conduziram tais ensaios com a altura da fonte externa de água coincidindo com a altura da superfície da amostra de solo na qual a água era infiltrada (ou seja, sem aplicação de tensão, saturando o solo). Nos testes com uma amostra de areia fina, os autores verificaram que os valores de sortividade obtidos com o novo equipamento apresentaram grande concordância com os obtidos em uma coluna de infiltração. Os ensaios com o mini-infiltrômetro de tensão em agregados de solo (naturais e reconstituídos) revelaram boa repetibilidade e baixa variabilidade dos valores de sortividade obtidos. Leeds-Harrison e Youngs (1997), trabalhando com agregados de um solo sob diferentes manejos mecanizados, utilizaram o mini-infiltrômetro de tensão em

ensaios de infiltração sob baixas sucções de água (entre 0 e 5 mm de coluna de água), possibilitando a medição de valores de condutividade hidráulica com baixa variabilidade. Assim, com base no erro padrão, foi possível identificar que os valores de K nos agregados do solo compactado (cultivado por implementos pesados tracionados por trator) foram significativamente menores do que os de agregados do solo não compactados (cultivado por implementos portáteis).

2.3. Hidrofobicidade em solos

A hidrofobicidade é uma propriedade que reduz a afinidade entre a água e o solo, gerando resistência ao umedecimento do solo por segundos, horas, dias ou semanas (King, 1981; Doerr e Thomas, 2000). A repelência entre a água e uma superfície sólida é originada a partir de um balanço entre as forças de adesão e de coesão em que as forças coesivas das moléculas de água são mais fortes que as forças de aderência entre as moléculas de água e as partículas do solo. Os compostos identificados em solos com caráter hidrofóbico são divididos em dois grupos: compostos apolares e polares. O primeiro grupo é formado por hidrocarbonetos de cadeia longa com estrutura alifática, não possui carga positiva ou negativa no final da cadeia e são insolúveis em água. O segundo grupo é formado por compostos com uma cadeia de hidrocarboneto (hidrofóbica) e com um grupo funcional terminal de carga positiva ou negativa, com caráter hidrofílico (Doerr et al., 2000).

A vegetação local é uma fonte direta de compostos orgânicos hidrofóbicos para o solo, pois espécies florestais apresentam grande quantidade de resinas, ceras e lipídios na superfície foliar (Vogelmann et al., 2015). Os microrganismos também contribuem com compostos hidrofóbicos para o solo, seja indiretamente, liberando componentes da matéria orgânica em processo de decomposição em que atuam, seja diretamente, por meio da liberação de exsudatos microbianos ou por sua própria superfície e recoberta por substâncias hidrofóbicas (Vogelmann et al., 2015; Buczko et al., 2005).

Outro fator, em grande parte decorrente de ação antrópica, que contribui para a geração do caráter hidrofóbico são as queimadas e incêndios florestais, onde o aquecimento do solo ocasiona uma alteração nos compostos, principalmente pela volatilização e condensação de substâncias orgânicas

hidrofóbicas, gerando uma camada superficial hidrofóbica, influenciando assim na absorção da água pelo solo (Fox et al., 2007).

Em várias partes do mundo, sob diversas condições climáticas e usos da terra, a repelência à água em solos vem sendo estudada com o emprego de diversas metodologias. King (1981) realizou um estudo para medir a severidade da repelência à água de solos, utilizando métodos rápidos então disponíveis, identificados em uma breve revisão bibliográfica, quais sejam: tempo de penetração de gotas de água (WD); molaridade das gotas de etanol (MED); taxa de infiltração de água de um pequeno infiltrômetro de anel (SRI); e ângulo de contato água-solo determinado pelo método da ascensão capilar (CA). O autor trabalhou com amostras coletadas nas camadas superficial e subsuperficial de um solo arenoso do Sul da Austrália sob diversos usos, concluindo que todos os métodos testados permitiram identificar adequadamente a repelência à água e diferenciar o solo dos sítios avaliados. Recomendou, no entanto, que os testes sempre sejam feitos com o solo seco ao ar ou em estufa, minimizando eventuais efeitos de variações de umidade e temperatura sobre os resultados.

Kumar et al. (1985) utilizaram dois métodos para medir o ângulo de contato água-solo de amostras de um solo arenoso não tratado (testemunha) ou tratado com diferentes resíduos orgânicos, incubados em condição aeróbica úmida por 308 dias. Com o solo seco, peneirado e acondicionado em um tubo de vidro transparente, o primeiro método foi o da infiltração horizontal com uma solução aquosa (CaCl_2 0,01 M) e com álcool etílico a 95%. De maneira similar, com o solo em outro tubo transparente, o segundo método empregado foi o da ascensão capilar. Para ambos os métodos, o avanço da frente de molhamento foi medido e a velocidade utilizada para determinar o ângulo de contato aparente. Dessa forma, obteve-se valores de $33,7^\circ$ para a testemunha, $79,2^\circ$ para o lodo de esgoto, $82,0^\circ$ para o lodo industrial, $84,4^\circ$ para o adubo verde e $85,1^\circ$ para o esterco de curral.

Siebold et al. (1997), trabalhando com o método da ascensão capilar em amostras de materiais de sílica e de carbonato, obtiveram uma expressão para calcular o ângulo de contato a partir do aumento de peso da coluna de solo em função do tempo, usando como líquidos de penetração a água e o hexano (este último apolar, não sujeito à repelência dos materiais testados, com ângulo de contato admitido $\alpha = 0$). Usando a metodologia proposta por Siebold et al. (1997),

Michel et al. (2001) caracterizaram a hidrofobicidade de um material turfoso. Já Goebel et al. (2004) e Goebel et al. (2005), com mesmo procedimento, estudaram a hidrofobicidade do solo homogeneizado e de agregados de diversas frações de tamanho (diâmetro menor que 1 mm, de 1 a 2 mm e de 2 a 4 mm).

Tillman et al. (1989), com o objetivo de estudar a repelência à água a partir da sortividade intrínseca (S_i), realizaram testes em laboratório e no campo. Em laboratório, fizeram ensaios de infiltração horizontal em um tubo transparente preenchido com material presumivelmente não hidrofóbico (areia fina purificada, com diâmetro entre 0,15-0,42 mm). No campo, realizaram ensaios de infiltração no horizonte superficial de um solo franco arenoso sob pastagem, utilizando um tubo de sortividade (que hoje pode ser considerado um precursor do infiltrômetro de tensão). Em ambos, fizeram os ensaios com água e com etanol, obtendo valores de sortividade (S) específicos para cada líquido e para cada material poroso (areia e solo). Levando em consideração os atributos de cada líquido relevantes para sua absorção pelo material poroso, viscosidade η e a tensão superficial σ , valores correspondentes de S_i puderam ser calculados a partir da equação 4. Para a areia, os valores de S_i obtidos para água e etanol foram virtualmente os mesmos. Para o solo sob pastagem, os valores de S_i obtidos para água foram muito menores que os obtidos para o etanol. Os autores propuseram um índice de hidrofobicidade, que seria calculado dividindo-se o valor de S_i obtido com etanol pelo valor de S_i obtido com água. Para um material não hidrofóbico, como a areia purificada, o índice seria próximo de 1, dada a semelhança entre os valores de S_i obtidos com os dois líquidos. Para um solo natural o índice seria superior a 1, sendo seu valor maior quanto maior for a presença de compostos orgânicos hidrofóbicos no solo.

Hallett e Young (1999), utilizando o mini-infiltrômetro de tensão desenvolvido por Leeds-Harrison et al. (1994) e Leeds-Harrison e Youngs (1997), calcularam o índice de hidrofobicidade (ou índice de repelência à água) proposto por Tillman et al. (1989), ao qual chamaram de índice R. Os autores, avaliando agregados do solo coletados de áreas fertilizadas com diferentes doses de N, verificaram que nas maiores doses ocorreram os menores valores de condutividade hidráulica e sortividade e os maiores índices de hidrofobicidade, fato que associaram ao aumento da atividade biológica e conseqüente produção de compostos orgânicos hidrofóbicos.

Hallett et al. (2003) testaram um mini-infiltrômetro de tensão em que o raio da ponta do tubo que entra em contato com a superfície do solo e lhe fornece líquido durante o processo de infiltração foi reduzido para 0,4 mm, inferior ao dos que vinham sendo até então utilizados, cujo raio da ponta variava entre 1 e 3 mm. Nessa escala, compatível com o diâmetro de muitas raízes absorventes ativas, os autores mediram características hidráulicas na zona radicular do solo sob cevada (*Hordeum vulgare*), colza (*Brassica napus*), batata (*Solanum tuberosum*) e capim (*Lolium multiflorum*), identificando diferenças no índice de hidrofobicidade da rizosfera dessas plantas.

Inúmeros outros trabalhos sobre hidrofobicidade do solo têm sido realizados pelo mundo, dentre os quais pode-se citar os de Nakaya et al. (1977), em solos do Japão, Dekker et al. (1990), na Holanda, Peng et al. (2003), em solos da China, e Jaramillo (2004), em solos da Colômbia. No Brasil, trabalhos desenvolvidos em diversas regiões (estados do Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul) apresentaram registros de solos hidrofóbicos (Perez et al., 1998; Johnson et al., 2005, Maia et al., 2005; Jansen et al., 2006; Vogelmann et al., 2010, 2012, 2013).

Pérez et al. (1998), realizando levantamentos de solos em diversas regiões brasileiras, coletaram amostras de horizontes A ou B para caracterizar o grau de repelência à água e as substâncias responsáveis por esse fenômeno, em amostras onde já se havia verificado visualmente o caráter hidrofóbico. Utilizando os métodos MED (molaridade de gotas de etanol) e o WDPT (tempo de penetração da gota de água) encontraram grau de repelência variando de muito baixo a moderado, verificando que mesmo solos mais argilosos podem apresentar o caráter hidrofóbico. Para a extração das substâncias hidrofóbicas também foram utilizados dois métodos, o primeiro que consistia de agitação e filtração da terra fina seca ao ar junto com uma solução de isopropanol em água destilada, e o segundo que consistia de dois processos de extração (um por aparato de Soxhlet e outro por partição com água). Os autores encontraram substâncias isoladas que tinham sua origem na vegetação local, sendo os alcanos de alto peso molecular os responsáveis pelo caráter hidrofóbico das amostras de solo.

Bastos et al. (2005), objetivando estudar a formação e estabilização de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico da região de Viçosa, Minas Gerais, com a adição de compostos orgânicos com características

hidrofóbicas (ácido esteárico puro) e hidrofílicas (amido solúvel P.A.), encontraram que os compostos orgânicos com caráter hidrofílico dominante não têm influência na formação e estabilização de agregados do solo, já as moléculas orgânicas com acentuado caráter hidrofóbico e hidrofílico na sua estrutura, como os ácidos húmicos, são capazes de melhorar a agregação de solos com grau de intemperismo avançado.

Objetivando avaliar a intensidade de repelência à água em misturas de areia com diferentes teores de matéria orgânica tratadas com diferentes concentrações de extratos hidrofóbicos (CEH), extraídos de um Neossolo a uma profundidade de 0 a 5 cm após a retirada da serrapilheira, Cambroner et al. (2011), utilizando o método WDPT (tempo de penetração da gota de água) mediram o grau de repelência e encontraram que as diferentes CEH induziram repelência à água em diferentes graus de intensidade.

Em um solo que recebeu doses crescentes de composto de lixo urbano e lodo de esgoto, Marciano (1999) utilizou um infiltrômetro de tensão nas tensões 0, 0,25, 0,50 e 1,00 kPa e relatou que no início da infiltração certa repelência à água podia ser visualizada na superfície do solo das parcelas tratadas com ambos os resíduos. O autor, no entanto, não levou tal ocorrência em consideração quando analisou as diferenças verificadas entre os tratamentos.

Estudando solos do Rio Grande do Sul e também usando o mini-infiltrômetro de tensão, Vogelmann (2011) verificou baixos índices de hidrofobicidade para dois Argissolos e dois Latossolos, mas elevados valores desse índice para um Vertissolo, um Cambissolo, um Gleissolo e um Planossolo.

Em alguns casos, certo grau de hidrofobicidade pode até ser desejável, pois contribui para a estabilização dos agregados e a preservação da matéria orgânica presentes nos solos, como já foi citado acima, porém em outros casos ela pode comprometer o desenvolvimento vegetal devido ao não umedecimento adequado do solo.

2.4. Revegetação e qualidade do solo

Além dos benefícios químicos e biológicos, a revegetação de áreas degradadas é uma prática tida como eficiente em recuperar a qualidade física do solo, fato esse normalmente associado à elevação do teor de matéria orgânica e à atuação do sistema radicular. Solos de áreas reflorestadas, comparados, por

exemplo, àqueles sob pastagem degradada, normalmente apresentam, entre outros atributos, valores menores de densidade e maiores de porosidade total, macroporosidade do solo e condutividade hidráulica na saturação. Diversos autores, alguns abaixo mencionados, demonstram que a revegetação torna os solos cada vez mais parecidos com os solos sob floresta nativa.

As leguminosas arbóreas *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá), *Acacia auriculiformis* (acácia) e *Gliricidia sepium* (gliricídia) foram utilizadas na revegetação de uma área degradada pela remoção do solo, tendo sido verificado por Costa et al. (2004) que essas espécies vegetais demonstraram ser eficientes em aportar nutrientes por meio do material formador da serapilheira, obtendo valores anuais (em kg ha⁻¹) de 110 a 170 para o N, de 4 a 7 para o P, de 18 a 63 para o K, de 100 a 190 para o Ca e de 25 a 40 para o Mg, alcançando valores na magnitude observada para uma capoeira vizinha.

Estudos em ecossistemas florestais nativos e plantados têm sido realizados para caracterizar a dinâmica de produção e decomposição da serapilheira e o retorno de nutrientes ao solo e para avaliar os reflorestamentos com fins de recuperação ambiental (Souza e Davide, 2001; Arato et al., 2003; Toledo e Pereira, 2004; Moreira e Silva, 2004; Araújo et al., 2005).

Trabalhando em uma pequena bacia hidrográfica de cabeceira com relevo fortemente ondulado, na encosta basáltica do Rio Grande do Sul, entre a Depressão Central e o Planalto Médio, Stürmer et al. (2011) avaliaram a variação temporal dos teores de carbono orgânico de Neossolos e Chernossolos sob vegetação original conservada (mata primária) ou sob vegetação restabelecida naturalmente após degradação (mata secundária e capoeirão). Os autores concluíram que, comparativamente ao carbono orgânico associado às frações mais finas (< 53 µm e < 2 µm), o carbono associado à fração de solo maior que 53 µm foi mais afetado pelas mudanças de uso do solo, ficando sujeito a perdas por causa da intensa mobilização do solo e da baixa capacidade de proteção dos argilominerais presentes nessa fração. Concluíram, ainda, que o restabelecimento natural da vegetação foi suficiente para, em um período de apenas seis anos, elevar os teores de carbono orgânico total a níveis próximos ao da mata nativa.

Alves et al. (2007), empregando, concomitantemente, em 2004, preparo convencional (subsolador até 0,40 m + arado de aiveca até 0,30 m + grade aradora até 0,20 m), correção da saturação por bases para 70% (1,2 Mg ha⁻¹ de

calcário dolomítico PRNT 70%) e revegetação com plantas da espécie gonçalo-alves (solteira ou combinada com feijão de porco, nabo forrageiro ou braquiária + lodo de esgoto), obtiveram melhorias nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho remanescente da área de onde se retirou uma camada de 8,6 m de espessura de solo, que foi usado na terraplanagem e fundação de uma usina hidrelétrica na década de 1960. Um ano após a implantação do experimento, os autores verificaram, para os tratamentos acima citados, até 0,40 m de profundidade, valores médios de $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$ para a densidade do solo (método do anel volumétrico) e de $152,6 \text{ mm h}^{-1}$ para a taxa de infiltração básica de água (método dos anéis concêntricos), enquanto na área não recuperada os valores desses atributos foram de, respectivamente, $1,77 \text{ Mg m}^{-3}$ e de $38,4 \text{ cm h}^{-1}$, tendo atribuído as diferenças mais ao preparo do solo do que à revegetação.

Bonini et al. (2012) estudaram a densidade do solo e a resistência à penetração como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há 17 anos, utilizando diversos adubos verdes, gesso e pastagem. Analisando os dados nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m de profundidade, os autores verificaram que os tratamentos usados foram eficientes em reduzir a densidade do solo e a resistência à penetração, principalmente na camada superficial, retornando o solo a uma condição mais próxima àquela sob a vegetação original de Cerrado.

2.4.1. Trabalhos realizados na área investigada, Conceição de Macabú, RJ

A área investigada no presente trabalho foi revegetada em dezembro de 1998 com eucalipto e leguminosas arbóreas e vem tendo seu solo estudado por diversos autores. A vegetação anterior consistia de uma pastagem degradada, que ocupava a área desde a década de 1930, quando houve a remoção da cultura do café. Como ambientes de referência têm sido utilizados um remanescente da pastagem que ocupava a área antes da revegetação e uma capoeira (mata secundária em regeneração desde a década de 1960). Nos diversos trabalhos abaixo citados verificou-se baixa fertilidade do solo em todas as áreas, porém com superioridade das leguminosas e inferioridade da capoeira quanto aos valores de pH e teores de nutrientes. Um resumo dos resultados mais relevantes para o presente trabalho é apresentado a seguir.

Gama-Rodrigues et al. (2008), analisando resultados de análise do solo coletado em agosto de 2001 (menos de três anos após a revegetação), sob as leguminosas acácia (*Acacia auriculiformis*) e sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), eucalipto, pasto e capoeira, encontraram baixa fertilidade da camada 0-0,10 m de profundidade em todas as áreas, mas observaram que a acácia possibilitou rápida cobertura e conseqüentemente proteção ao solo e propiciou, juntamente com o sabiá, os maiores valores de pH e soma de bases e os menores teores de carbono orgânico.

Em relação ao teor de carbono, Zaia et al. (2008) e Costa et al. (2014), em solo da camada 0-0,05 m coletado em 2003, cerca de cinco anos após a revegetação, nas áreas sob as leguminosas acácia e sabiá, pasto e capoeira, encontraram teores equivalentes entre as quatro áreas. Ndaw (2007), em amostras de setembro de 2005, e Nunes et al. (2016), em amostras de julho de 2007, em ambas coletadas da camada 0-0,10 m, obtiveram teores de carbono orgânico superiores na capoeira e equivalentes entre o pasto e as duas leguminosas. Por fim, Rita et al. (2013), em amostras de dezembro de 2010, e Gomes (2016), em amostras de julho de 2015, respectivamente doze e dezessete anos após a revegetação, ambos na camada 0-0,10 m, verificaram teores de carbono orgânico inferiores no pasto e equivalentes entre a capoeira e as leguminosas (incluindo *Inga spp.*), coberturas essas que, portanto, levaram à recuperação desse importante indicador de qualidade do solo.

Gama-Rodrigues et al. (2008), Manhães et al. (2009), Manhães et al. (2013) e Ribeiro et al. (2014) observaram alterações na respiração da biomassa microbiana e na biomassa e diversidade da fauna do solo, as quais, em uma análise mais aprofundada da qualidade do solo, poderiam ser relacionadas às alterações tanto químicas quanto físicas da área em questão (ora como causa, ora como efeito).

Quanto aos atributos físicos, a partir de amostras coletadas em anéis volumétricos em dezembro de 2010 com o objetivo de calcular os estoques de C e N, Gomes (2014) obteve densidade do solo menor na capoeira (valores médios de 1,17 e 1,14 Mg m⁻³, respectivamente, para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m) e maior nas demais coberturas (médias de 1,38 e 1,47 Mg m⁻³, para as referidas camadas, também respectivamente). Gomes (2016), em amostras de solo coletadas em julho de 2015, verificou diferenças expressivas entre as

coberturas vegetais quanto a atributos físicos usualmente indicadores da compactação do solo, observando maior densidade e menor porosidade total na pastagem, valores intermediários nas áreas revegetadas e menor densidade e maior porosidade total na capoeira. Quanto à distribuição dos poros em classes de tamanho, além de observar redução da proporção de poros grandes quanto mais compactado fosse o solo, Gomes (2016) verificou que a área sob pastagem de gramínea, mesmo compactada, preservou poros em uma faixa intermediária de tamanho (mesoporos), o que pode ter efeitos importantes para uma melhor dinâmica de água no solo não saturado (ou seja, melhor redistribuição de água no perfil do solo).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área

A área de estudo localiza-se no Município de Conceição de Macabú, Norte Fluminense, na Fazenda Carrapeta (21° 37' S e 42° 05' W). Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am, quente e úmido, com temperatura em média de 26 °C e precipitação média anual de 1.400 mm, concentrada entre outubro e março, com período seco entre junho e setembro (Gama-Rodrigues et al., 2008). O solo é Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2013), apresentando um relevo ondulado com declividade de 0,35 m m⁻¹.

A área experimental constitui-se de cinco talhões com coberturas vegetais distintas, adjacentes uma às outras, na mesma cota de altitude (Gomes, 2016). Três desses talhões são constituídos de plantios puros de espécies de leguminosas arbóreas, sendo: talhão 1 - *Acacia auriculiformis* (Acácia); talhão 2 - *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá); e talhão 3 - *Inga spp.* (Ingá). Estes talhões têm área aproximada de 1.500 m² (75 x 20 m), tendo sido as espécies implantadas em 1998, todas inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias fixadoras de N₂ atmosférico e fungos micorrízicos (um combinado de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum*), conforme Gama-Rodrigues et al. (2008).

As outras duas coberturas vegetais estudadas foram um remanescente de Mata Atlântica (talhão 4) e um pasto (talhão 5). O remanescente de Mata Atlântica, ou capoeira, encontra-se em estágio secundário de sucessão, estando

há cerca de 50 anos sem remoção de árvores. A capoeira foi usada como referência de área não degradada e, possivelmente, de alta qualidade do solo, já que comumente se utiliza esse tipo de ecossistema para avaliar as alterações do solo em função da forma de uso e das técnicas de manejo, comparando-se solos manejados e não manejados (Barros e Comerford, 2002).

O pasto é típico da região, não manejado tecnicamente, com baixa capacidade de suporte animal, com sinais de ocorrência de fogo e erosão laminar, com falhas na cobertura vegetal do solo, com predomínio de capim-gordura (*Melinis minutiflora*), grama-pernambuco (*Paspalum maritimum*) e sapê (*Imperata brasiliensis*), além de plantas invasoras como assa-peixe (*Vernonia polysphaera*). Pelas características descritas, o pasto foi considerado como referência de área degradada e, possivelmente, de baixa qualidade do solo, sendo esta a vegetação que ocupava os talhões 1, 2 e 3 anteriormente ao plantio das espécies arbóreas.

3.2. Coleta de amostras de solo

A coleta de solo foi realizada em julho de 2015, tendo decorrido aproximadamente 17 anos desde o momento da revegetação com as leguminosas arbóreas. Em cada talhão foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, em seis pontos (repetições) afastados 5 m entre si, no sentido da maior declividade. Em cada talhão também foi aberta uma trincheira para a coleta de amostras do perfil de solo, nas camadas de 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m, 0,80-1,00 m de profundidade. As amostras, devidamente acondicionadas, foram levadas ao Laboratório de Solos (LSOL) da UENF/CCTA, onde foram preparadas para as análises. Em cada local e camada do solo foram coletadas amostras com estrutura deformada e com estrutura indeformada (como agregados ou contidas em anéis).

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira de malha com abertura de 2 mm, obtendo-se amostras chamadas de “terra fina seca ao ar” (TFSA), que foram alvos de caracterização química e análise granulométrica do trabalho de Gomes (2016) (Tabelas 1 e 2). As amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos metálicos de 100 mL foram também utilizadas por Gomes (2016), tendo sido determinadas a densidade, a porosidade e a distribuição de poros por tamanho (a partir da curva de retenção de água no solo), também constantes na Tabela 2.

Tabela 1: Atributos químicos do solo^(*) sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0-0,20 m (média), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Conceição de Macabú, RJ: pH, C, N, relação C/N, P, Al, H + Al, Ca, Mg, K, Na, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efet}) e a pH=7 (CTC_{pH=7}), saturação por bases (valor V) e por Al (valor m)

Cobertura Vegetal	pH (H ₂ O)	C	N	P	C/N	Al	H + Al	Ca	Mg	K	Na	SB	CTC _{efet}	CTC _{pH=7}	V	m
		----- (mg kg ⁻¹) -----			-	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----						----- (%) -----				
Camada 0-0,10 m																
Capoeira	4,22	18,8	1,56	0,12	12,0	1,13	7,82	0,39	0,38	0,010	0,007	0,79	1,9	8,6	9,0	58,8
Acácia	4,48	14,6	1,37	0,17	10,7	0,37	6,77	1,60	0,52	0,017	0,007	2,14	2,5	8,9	23,5	17,1
Ingá	4,22	13,9	1,07	0,15	13,7	0,98	6,55	0,49	0,40	0,009	0,006	0,90	1,9	7,5	12,2	52,2
Sabiá	4,26	16,0	1,36	0,18	11,9	1,17	7,77	0,67	0,36	0,015	0,004	1,05	2,2	8,8	11,9	52,2
Pasto	4,26	13,1	0,93	0,22	14,9	0,85	6,40	0,24	0,15	0,008	0,006	0,41	1,3	6,8	5,9	68,0
Camada 0,10-0,20 m																
Capoeira	4,12	12,2	1,10	0,08	11,1	1,12	7,48	0,12	0,16	0,007	0,006	0,30	1,4	7,8	3,8	78,9
Acácia	4,34	11,1	1,00	0,11	11,3	0,88	6,62	0,53	0,25	0,012	0,006	0,79	1,7	7,4	10,5	52,5
Ingá	4,28	10,8	1,01	0,08	11,3	1,08	6,57	0,14B	0,25	0,007	0,006	0,40	1,5	7,0	5,8	73,0
Sabiá	4,22	11,9	1,00	0,10	12,9	1,23	6,65	0,25	0,19	0,011	0,004	0,46	1,7	7,1	6,4	73,1
Pasto	4,18	11,3	0,86	0,04	13,0	0,92	7,07	0,11	0,04	0,004	0,005	0,16	1,1	7,2	2,2	85,5

^(*)Carbono orgânico: dicromato de potássio + colorimetria, pelo método descrito por Anderson e Ingram (1993). Demais atributos químicos determinados conforme marchas analíticas apresentadas em Embrapa (1997): nitrogênio total: método Kjeldahl por câmara de difusão; pH em água: determinado por potenciometria em solução solo-água, proporção 1:2,5; fósforo disponível: extraído com solução Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de absorção atômica; alumínio trocável: extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹, na proporção solo-solução de 1:10, e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹, com azul de bromotimol como indicador; H + Al: extraído com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ tamponada a pH = 7,0, e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹, usando-se fenolftaleína como indicador; cálcio e magnésio trocáveis: extraídos com solução KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; e potássio e sódio trocáveis: extraídos pelo extrator de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama.

Fonte: Gomes (2016).

Tabela 2: Composição granulométrica^(*) (teores de areia, silte e argila), densidade (Ds), porosidade total (PT) e distribuição de poros por tamanho^(**) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0-0,20 m (média), em Conceição de Macabú, RJ

Cobertura	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	Distribuição de poros por tamanho					
						macro1*	micro1*	macro2*	meso	micro2*	cripto
Vegetal	(g kg ⁻¹)			(Mg m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)						
Camada 0-0,10 m											
Capoeira	640,0	85,5	274,5	1,114	0,580	0,398	0,181	0,357	0,058	0,024	0,140
Acácia	627,1	70,1	302,8	1,386	0,477	0,249	0,228	0,221	0,044	0,061	0,150
Ingá	610,8	93,1	296,1	1,215	0,542	0,321	0,221	0,286	0,054	0,058	0,144
Sabiá	603,8	96,8	299,4	1,255	0,527	0,294	0,233	0,261	0,050	0,046	0,170
Pasto	637,6	90,7	271,7	1,361	0,486	0,223	0,263	0,177	0,073	0,081	0,156
Camada 0,10-0,20 m											
Capoeira	598,5	93,8	307,6	1,093	0,587	0,355	0,233	0,301	0,080	0,049	0,158
Acácia	510,0	96,0	394,1	1,474	0,444	0,175	0,268	0,145	0,049	0,080	0,170
Ingá	535,7	108,4	356,0	1,283	0,516	0,241	0,275	0,197	0,068	0,069	0,182
Sabiá	515,4	111,7	372,9	1,370	0,483	0,193	0,290	0,146	0,072	0,070	0,194
Pasto	533,3	110,2	356,5	1,271	0,520	0,265	0,255	0,220	0,070	0,070	0,160

^(*)Análise granulométrica: dispersão de 20 g de solo com 20 mL de NaOH (0,1 mol L⁻¹) + 200 mL de água e agitação por 16 horas a 120 ciclos por minuto (agitador horizontal), com areia obtida em peneira de malha 53 µm, argila pelo método da pipeta e silte por diferença; ^(**)Distribuição de poros por tamanho: (a) na escala usual: macroporos (macro1: diâmetro ≥ 50 µm) e microporos (micro1: diâmetro ≤ 50 µm); e (b) na escala detalhada: macroporos (macro2: diâmetro ≥ 100 µm), mesoporos (meso: 100 µm ≥ diâmetro ≥ 30 µm), microporos (micro2: 30 µm ≥ diâmetro ≥ 0,2 µm) e criptoporos (cripto: diâmetro ≤ 0,2 µm).

Fonte: Gomes (2016)

As amostras indeformadas contendo agregados naturais preservados, acondicionadas em embalagens plásticas rígidas, foram secas por 72 horas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, sendo então armazenadas para serem posteriormente estudadas. No presente trabalho os agregados foram avaliados quanto a atributos relacionados à dinâmica da água e à afinidade água-solo, obtidos a partir de ensaios com mini-infiltrômetro de tensão.

3.3. Procedimento analítico para a obtenção dos atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados

No presente trabalho foram estudadas 80 amostras de solo (Figura 1). Das camadas superficiais (0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade) foram coletadas 60 amostras, sendo 12 por área (seis cada camada, obtidas em seis pontos de coleta cada talhão, na direção da maior declividade, afastados 5 m entre si). Das camadas profundas (0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m, e 0,80-1,00 m) foram coletadas 20 amostras, sendo quatro amostras por área (uma cada camada, obtidas em uma trincheira aberta em cada um dos cinco talhões). De cada amostra, agregados naturais de solo foram selecionados e utilizados no laboratório para os ensaios com o mini-infiltrômetro de tensão, desenvolvido por Leeds-Harrison et al. (1994) e Leeds-Harrison e Youngs (1997). Embora já previamente secas, na véspera da realização dos ensaios de infiltração as amostras foram novamente colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, buscando-se prevenir que eventuais diferenças entre amostras pudessem ser decorrentes de variações na umidade dos agregados durante o período de armazenamento e de realização dos ensaios.

Para as avaliações hidrodinâmicas (ensaios de infiltração tendo água como líquido penetrante) foram utilizados nove agregados cada amostra das camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade e 15 agregados cada amostra das camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m, 0,80-1,00 m de profundidade. Após os ensaios os agregados foram reintegrados às amostras originais, ficando disponíveis para serem reutilizados. Em momento posterior, para a avaliação da afinidade água-solo, a mesma quantidade de agregados foi utilizada para ensaios de infiltração tendo como líquido penetrante etanol a 95%. Para os ensaios foram selecionados agregados que apresentavam os maiores diâmetros (entre 20 e 30 mm ou, em média, 25 mm) para que, durante

a penetração dos líquidos não houvesse a saturação e consequente desmanche dos mesmos.



Figura 1. Amostras de agregados naturais de solo utilizados nos ensaios de infiltração de água e etanol.

O mini-infiltrômetro de tensão utilizado no presente trabalho está apresentado na Figura 2. O equipamento consiste em um tubo transparente semiflexível (mangueira de cristal), com 3 mm de diâmetro interno e parede de 1 mm de espessura, em que uma das extremidades foi colocada em um reservatório com o líquido (água ou etanol) e a outra foi preenchida com lã de vidro, resultando em uma pequena esponja com 3 mm de diâmetro, a qual foi colocada em contato com os agregados. O contato esponja-agregado era ajustado para ficar em uma posição ligeiramente acima do nível do líquido no reservatório, de modo que o líquido infiltra no solo sob tensão correspondente à citada diferença de altura. Cabe ressaltar que não ocorre entrada de ar pela esponja devido a seus poros terem diâmetro capilar capaz de sustentar as sucções acima referidas. O reservatório foi mantido sobre uma balança eletrônica, permitindo o monitoramento da massa de líquido que infiltrava ao longo do tempo.

Antes de ser utilizado em um ensaio de infiltração, cada agregado teve o seu peso anotado. Também antes do início de cada ensaio, a balança com o reservatório de líquido teve sua leitura “zerada”. Estabelecido, no tempo “zero”, o contato da esponja com o agregado, teve início o processo de infiltração do líquido no solo. Concomitantemente à infiltração no agregado, na outra ponta do infiltrômetro o líquido era absorvido do reservatório, ocasionando alívio de

peso no prato da balança, fazendo com que essa apresentasse leituras cada vez mais negativas. A massa cumulativa de líquido, que ascende pelo tubo de cristal e infiltra no agregado, foi anotada a cada 15 segundos, começando no tempo zero e chegando nos 120 segundos. A massa de líquido infiltrado em cada intervalo de tempo foi obtida pela diferença entre a leitura inicial e final da balança. Para a obtenção da taxa de infiltração em equilíbrio dinâmico foram descartados os intervalos iniciais, com taxa de infiltração ainda variável, sendo utilizados os intervalos finais, em que a massa infiltrada se torna constante. A referida taxa de infiltração foi ainda corrigida descontando-se a taxa de perda de líquido por evaporação, obtida a partir do monitoramento das leituras da balança sem que o equipamento estivesse em funcionamento, ou seja, que o agregado estivesse em contato com a esponja (monitoramento este conduzido durante cinco minutos e repetido a cada três ensaios com agregados).

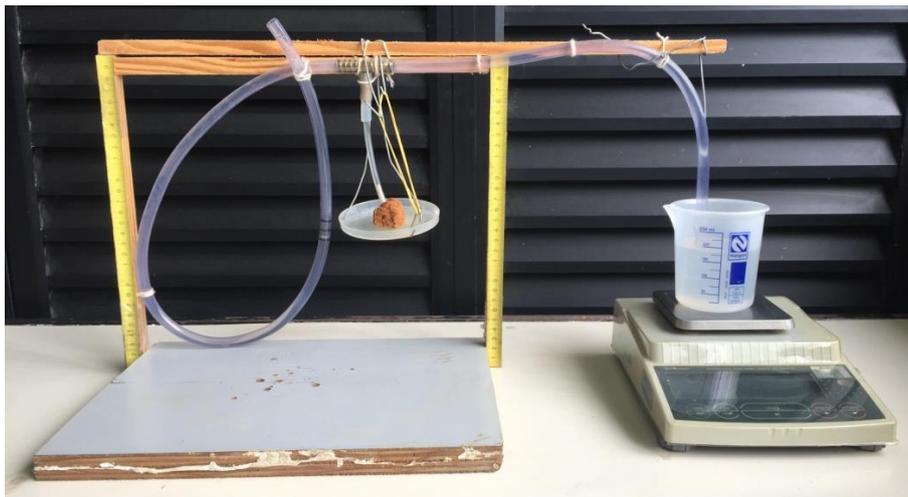


Figura 2. Mini-infiltrômetro de tensão utilizado nos ensaios de infiltração de água e etanol em agregados.

Para cada líquido penetrante, os ensaios de infiltração foram realizados sob três tensões, sendo que quanto menor a tensão maior a vazão (Figura 3). Essas tensões foram estabelecidas a partir de diferenças de nível entre a superfície do líquido no reservatório e a superfície de contato esponja-agregado, sendo utilizadas 10, 20 e 30 mm de altura de sucção. Em cada altura foram utilizados três agregados dentre os nove selecionados de cada amostra. Para a água, que tem densidade $\rho_a = 1000 \text{ g L}^{-1}$ e tensão superficial

$\sigma_a = 0,073 \text{ N m}^{-1}$, essas alturas correspondem aproximadamente a 0,10, 0,20 e 0,30 kPa, enquanto para o etanol, cuja densidade ($\rho_e = 810 \text{ g L}^{-1}$) e tensão superficial ($\sigma_e = 0,023 \text{ N m}^{-1}$) diferem da água, tais alturas correspondem a aproximadamente 0,081, 0,162 e 0,243 kPa.

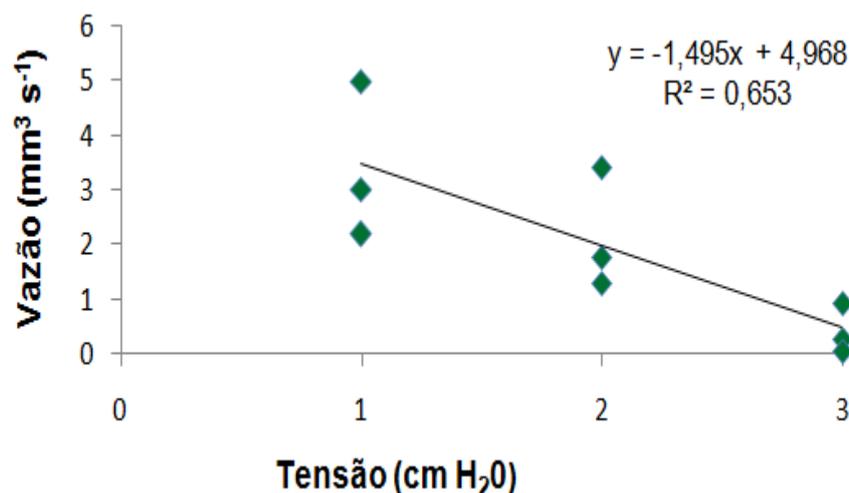


Figura 3. Dispersão entre valores de vazão obtidos com o mini-infiltrômetro de tensão em ensaios com água em função das tensões aplicadas aos agregados do solo.

3.4. Procedimento de cálculo para obtenção de atributos hidrodinâmicos em agregados

Para as pequenas sucções utilizadas, a relação entre a taxa constante de infiltração (Q , $\text{mm}^3 \text{ s}^{-1}$) e a tensão do líquido (τ , kPa) na superfície do agregado (em contato com a esponja) é tipicamente linear (Leeds-Harrison e Youngs, 1997). Tal relação pode ser expressa tanto a partir de um gráfico de dispersão Q e τ (Figura 3) quanto de uma equação ajustada entre essas variáveis:

$$Q = a_0 + a_1 \tau \quad (5)$$

Nessa equação, o coeficiente linear a_0 corresponde à estimativa da taxa constante de infiltração quando a tensão do líquido é igual a “zero” (Q_0).

Para um ensaio de infiltração em superfície circular de raio (r , mm) muito pequeno, como no presente caso, a taxa constante de infiltração Q pode ser representada pela equação que segue (Leeds-Harrison et al., 1994):

$$Q = 4brS^2/f \quad (6)$$

em que: b é um parâmetro que depende da forma da função de difusão do líquido no solo (sendo seu valor admitido como igual a 0,55 para um solo típico médio); f é a porosidade a ser preenchida com líquido durante a infiltração (cujo valor, no presente caso, é muito próximo ao da porosidade total, pois corresponde à diferença entre a umidade na superfície do agregado durante o ensaio - com o solo “quase saturado”, às pequenas tensões 0,10, 0,20 e 0,30 kPa - e sua umidade inicial - com o solo seco em estufa a 65 °C); e S ($\text{mm}^3 \text{s}^{-1/2}$) é a sortividade, atributo que indica a capacidade de um solo absorver o líquido em relação ao seu conteúdo inicial. Rearranjando a equação 2 para explicitar S (Leeds-Harrison et al., 1994) tem-se:

$$S = \sqrt{fQ/(4br)} \quad (7)$$

Utilizando-se nessa equação os valores de f e Q correspondentes à tensão “zero” (f_0 e Q_0 , respectivamente) pode-se obter, para cada amostra, o valor da sortividade do líquido correspondente também à tensão “zero” ou saturação ($S = S_0$).

Em relação ao coeficiente angular a_1 da equação 1, Leeds-Harrison e Youngs (1997) demonstram que este pode ser relacionado à condutividade do líquido na saturação (K_0) pela equação:

$$a_1 = 4rK_0 \quad (8)$$

que, rearranjada, permite a obtenção de uma estimativa do valor de K_0 :

$$K_0 = a_1/(4r) \quad (9)$$

Considerando que os ensaios foram realizados com água e etanol, foi possível estimar, para cada amostra, a sortividade para atingir a saturação com água ($S_{0-água}$) ou com etanol ($S_{0-etanol}$), pela equação 7, e a condutividade na saturação hidráulica (ou de água, $K_{0-água}$) ou etanólica (ou de etanol, $K_{0-etanol}$), pela equação 9.

Para ambos os líquidos de penetração, água e etanol, os valores de permeabilidade intrínseca k_i (equação 3) e sortividade intrínseca S_i (equação 4) foram calculados. Como k_i e S_i são, em tese, relacionadas exclusivamente ao meio poroso (ou seja, são propriedades que independem do líquido utilizado para sua determinação), conforme Libardi (2005) e Tillman et al. (1989), deveriam ser verdadeiras as igualdades abaixo:

$$k_{i-água} = k_{i-etanol} \quad (10)$$

e

$$S_{i-água} = S_{i-etanol} \quad (11)$$

onde os termos “água” e “etanol”, incorporados aos índices subscritos das referidas variáveis, indicam o líquido a partir do qual foram determinadas.

Rearranjando-se a equação 3 e admitindo-se como verdadeira a igualdade da equação 10, obviamente também deveriam ser verdadeiras as igualdades apresentadas abaixo para a condutividade do solo na saturação, com água ($K_{0-água}$) ou com etanol ($K_{0-etanol}$):

$$K_{0-água} = k_{i-água} / \eta_a = k_{i-etanol} / \eta_a \quad (12)$$

$$K_{0-etanol} = k_{i-etanol} / \eta_e = k_{i-água} / \eta_e \quad (13)$$

onde η_a ($0,0012 \text{ N s m}^{-2}$) e η_e ($0,0012 \text{ N s m}^{-2}$) são, respectivamente, as viscosidades da água e do etanol à temperatura em que os ensaios foram conduzidos ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).

De forma semelhante, rearranjando-se a equação 4 e levando em consideração a equação 11, para sortividade do solo, seja para sua saturação com água ($S_{0-água}$) seja com etanol ($S_{0-etanol}$), também deveriam ser verdadeiras as seguintes igualdades:

$$S_{0-água} = \left(\frac{\sigma_a}{\eta_a} \right)^{1/2} S_{i-água} = \left(\frac{\sigma_a}{\eta_a} \right)^{1/2} S_{i-etanol} \quad (14)$$

$$S_{0-etanol} = \left(\frac{\sigma_e}{\eta_e} \right)^{1/2} S_{i-etanol} = \left(\frac{\sigma_e}{\eta_e} \right)^{1/2} S_{i-água} \quad (15)$$

onde η_a ($0,0010 \text{ N s m}^{-2}$), σ_a ($0,073 \text{ N m}^{-1}$), η_e ($0,0012 \text{ N s m}^{-2}$) e σ_e ($0,023 \text{ N m}^{-1}$) são, respectivamente, as viscosidades e as tensões superficiais da água e do etanol à temperatura de condução dos ensaios ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Adicionalmente, considerando-se as equações 12 e 13, a equação 10 poderia ser reescrita como:

$$K_{0-água} = \frac{\eta_e}{\eta_a} K_{0-etanol} \Rightarrow K_{0-água} = 1,20 K_{0-etanol} \quad (16)$$

e, considerando-se as equações 14 e 15, a equação 11 também poderia ser reescrita como:

$$S_{0-água} = \frac{\left(\frac{\sigma_e}{\eta_e} \right)^{1/2}}{\left(\frac{\sigma_a}{\eta_a} \right)^{1/2}} S_{0-etanol} \Rightarrow S_{0-água} = 1,95 S_{0-etanol} \quad (17)$$

3.5. Procedimento de cálculo para a obtenção dos atributos de afinidade água-solo em agregados

Como, em muitos casos, as igualdades apresentadas nas equações 10 a 17 acima não têm sido verificadas (vide item 2.3), foi obtido, no presente trabalho, o índice numérico proposto por Tillman et al. (1989) para expressar o nível de hidrofobicidade do solo. Tal índice de hidrofobicidade é calculado pelo quociente entre a sortividade intrínseca obtida com etanol e a sortividade intrínseca obtida com água. Para evitar dificuldades associadas à condução de ensaios de infiltração na saturação, em particular aquelas decorrentes do umedecimento irregular devido ao fluxo preferencial nos macroporos, os autores sugeriram que fossem empregadas tensões ligeiramente subatmosféricas.

Hallett e Young (1999) chamaram de R o índice proposto por Tillman et al. (1989), obtendo-o a partir dos valores de sortividade correspondentes à sucção de 20 mm de coluna de água (ou tensão de 0,20 kPa), como segue:

$$R = S_{i20-etanol} / S_{i20-água} = 1,95 S_{20-etanol} / S_{20-água} \quad (18)$$

onde $S_{i20-água}$ e $S_{i20-etanol}$ correspondem, respectivamente, à sortividade intrínseca da água e do etanol à tensão de 0,20 kPa, e $S_{20-água}$ e $S_{20-etanol}$ correspondem à sortividade efetiva de água e do etanol, respectivamente, também à tensão de 0,20 kPa. Tillman et al. (1989) sugeriram ainda que, sendo essa tensão subatmosférica estabelecida a partir da altura de sucção de água e álcool, a diferença de densidade dos líquidos precisava ser considerada.

Para cada amostra, a obtenção da sortividade à tensão de 0,20 kPa, para água e etanol, foi feita utilizando-se a equação 7, considerando os valores de Q (obtidos a partir da equação 1) e de f correspondentes à referida tensão.

Além da constatação de que $R = 1$ corresponde a um solo totalmente não repelente, cabe destacar que Tillman et al. (1989) sugeriram que solos com $R < 1,95$ (ou seja, com $S_{20-etanol} < S_{20-água}$) sejam considerados não repelentes, e que somente solos com $R > 1,95$ ($S_{20-etanol} > S_{20-água}$) sejam admitidos como hidrofóbicos.

Como o comportamento hidrorrepelente do solo (ou seja, a dificuldade de seu molhamento pela água) implica no não cumprimento do pressuposto básico admitido durante o processo de infiltração, de que, instantaneamente, o ângulo de contato estabelecido entre a água e as partículas do solo seria igual a zero (Libardi, 2005), no presente trabalho o valor desse ângulo de contato água-solo (α) foi calculado considerando-se que ele se correlaciona com R pela seguinte equação (Grizy et al., 2006):

$$\alpha = \arccos(1/R) \quad (19)$$

Para um solo com $R = 1$ (totalmente não repelente), obviamente $\alpha = 0^\circ$, enquanto para um solo com $R = 1,95$ (limite crítico entre solo não repelente e repelente), $\alpha = 59^\circ$. No presente trabalho, quando, eventualmente, foi obtido $R < 1$ (possibilidade que decorrente da variabilidade natural entre os agregados de uma amostra), considerou-se $\alpha = 0^\circ$.

3.6. Análises estatísticas

A despeito de não serem atendidos com rigor os preceitos básicos da estatística experimental (casualização, repetição e controle local), em trabalhos realizados anteriormente nessa mesma área de estudo (Gama-Rodrigues et al., 2008; Zaia et al., 2008; Costa et al., 2014; Gomes, 2016), a análise estatística foi feita admitindo-se um delineamento inteiramente casualizado. No presente trabalho, da mesma forma que nos demais citados, considerou-se que a uniformidade pedológica entre talhões, a fixação dos pontos de coleta em uma mesma cota de altitude e a expressiva distância entre pontos de coleta de talhões distintos tenham permitido superar a ausência dos referidos preceitos. A uniformidade pedológica foi constatada por Gomes (2016) tanto *in situ* (a partir dos aspectos morfológicos do perfil) quanto em laboratório (a partir da composição granulométrica) dos horizontes do solo. Para os dados obtidos nas camadas superficiais, 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, a análise de variância dos tratamentos foi realizada utilizando-se o programa Assistat e considerando-se o esquema de parcelas subdivididas, com as coberturas vegetais como parcelas e as duas camadas da amostragem como subparcelas,

e os seis pontos de coleta como repetições. A comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, também pelo uso do Assistat. As variáveis hidrodinâmicas foram correlacionadas entre si e com outros atributos químicos e físicos do solo, sendo os dados das camadas superficiais (0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade) disponíveis em Gomes (2016) e os das camadas profundas (0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade) fornecidos por Faustino (2017) mediante informação pessoal (dados esses que fazem parte de seu trabalho de tese de doutorado em Produção Vegetal na UENF, ainda em andamento e que tem previsão de término para o início de 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados do horizonte superficial (A) do solo (camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade)

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos para as variáveis relacionadas à dinâmica água no solo para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. Para a condutividade hidráulica do solo saturado ($K_{0\text{-}\text{água}}$) a análise estatística mostrou que o efeito da cobertura vegetal diferiu entre as camadas. Na 0-0,10 m o valor de $K_{0\text{-}\text{água}}$ foi superior no pasto, intermediário no ingá e inferior no sabiá (capoeira e acácia apresentaram valores que não diferiram nem do ingá, por um lado, nem do sabiá, por outro lado). Na 0,10-0,20 m os maiores valores de $K_{0\text{-}\text{água}}$ ocorreram no ingá e pasto e os menores na capoeira e sabiá, enquanto a acácia apresentou valor intermediário, sem diferir do ingá e pasto, por um lado, e do sabiá e capoeira, por outro.

Há inúmeros relatos de que a alteração da cobertura vegetal leva a alterações nos atributos químicos e físicos do solo, incluindo aqueles relacionados à dinâmica da água. Marín-Castro et al. (2016), estudando a distribuição espacial da condutividade hidráulica do solo saturado sob floresta tropical de montanha e em agroecossistemas com café no México, observaram alta condutividade hidráulica em ambos os ambientes, porém significativamente

menor no agroecossistema. Estudando a influência das árvores da espécie nativa *Acacia raddiana* nas propriedades hidráulicas na superfície de um solo árido na Tunísia, Boever et al. (2016) encontraram que os solos abaixo da copa dessa árvore, em comparação com solos dela afastados, têm um maior teor de matéria orgânica, menor densidade e maior porosidade total, coincidindo também com os maiores valores de condutividade hidráulica, os quais aumentaram com o aumento do tamanho da copa. Bono et al. (2005), comparando diferentes usos e sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que a VIB (obtida pelo infiltrômetro de duplo anel) foi menor sob lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária, comparativamente ao solo sob vegetação nativa de Cerrado.

Tabela 3: Condutividade hidráulica do solo saturado, efetiva ($K_{0\text{-}\acute{a}gua}$) e intrínseca ($k_{i\text{-}\acute{a}gua}$), e sortividade hidráulica para atingir a saturação, efetiva ($S_{0\text{-}\acute{a}gua}$) e intrínseca ($S_{i\text{-}\acute{a}gua}$), de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0-0,20 m (média), em Conceição de Macabú, RJ

Cobertura Vegetal	$K_{0\text{-}\acute{a}gua}$ (mm h^{-1})	$k_{i\text{-}\acute{a}gua}$ (mm^2)	$S_{0\text{-}\acute{a}gua}$ ($\text{mm}^3 \text{s}^{-1/2}$)	$S_{i\text{-}\acute{a}gua}$ ($\text{mm}^{-1/2}$)
Camada 0 - 0,10 m				
Capoeira	56,45 bcA	1,57bcA	0,262cA	0,031cA
Acácia	232,91 bcA	6,47bcA	0,468bB	0,055bB
Ingá	486,89 bB	13,52 bB	0,656bB	0,077bB
Sabiá	20,41 cA	0,57cA	0,141cB	0,016cB
Pasto	1453,79 aA	40,38 aA	1,259aA	0,147aA
Média	450,09	12,50	0,557	0,065
Camada 0,10 - 0,20 m				
Capoeira	42,35 bA	1,18bA	0,216bA	0,025bA
Acácia	367,69 abA	10,21 abA	0,695aA	0,081aA
Ingá	822,79 aA	22,85 aA	0,824aA	0,086aA
Sabiá	102,77 bA	2,85 bA	0,288bA	0,034bA
Pasto	707,56 aB	19,65 aB	0,827aB	0,097aB
Média	408,63	11,35	0,570	0,067
Média das camadas (0 - 0,20 m)				
Capoeira	49,40	1,37	0,239	0,028
Acácia	300,30	8,34	0,582	0,068
Ingá	654,84	18,19	0,740	0,087
Sabiá	61,59	1,71	0,214	0,025
Pasto	1080,68	30,02	1,043	0,112
Média	429,36	11,93	0,563	0,066
CV (%)**	67,78	67,78	24,34	24,34

Obs.: Para cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula (que comparam as camadas) ou de mesma letra minúscula (que comparam as coberturas) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se as duas camadas do solo estudadas quanto à condutividade hidráulica na saturação (Tabela 3), observa-se que houve superioridade da 0-0,10 m sobre a 0,10-0,20 m para o pasto, da 0,10-0,20 m sobre a 0-0,10 m para o ingá, e equivalência entre as camadas para as demais coberturas (capoeira, acácia e sabiá). Ressalta-se aqui que tais resultados contrariam a expectativa inicial de que haveria uma relação inversa entre esta variável e a compactação do solo, pois, conforme a Tabela 2, no pasto a camada 0-0,10 m apresentou-se mais compactada do que a 0,10-0,20 m, e no ingá a camada 0,10-0,20 m era mais compactada do que a 0-0,10 m (o que ocorreu também para acácia e sabiá). Na já citada comparação entre as coberturas vegetais a mesma incongruência pôde ser verificada, pois a superioridade da condutividade hidráulica na saturação do pasto ocorreu a despeito da elevada densidade do solo verificada desse talhão, enquanto os menores valores de $K_{0-água}$ na capoeira e sabiá ocorreram a despeito da elevada porosidade do solo nesses talhões (Tabela 2).

Na teoria, a expectativa de relação inversa entre condutividade hidráulica e compactação do solo é sustentada pela Lei de Poiseuille, pela qual a vazão de líquido em um tubo capilar relaciona-se diretamente à quarta potência de seu raio (Libardi, 2005). Assim, estabelecida uma condição de fluxo em equilíbrio dinâmico, a magnitude dos valores de condutividade hidráulica é determinada majoritariamente pelos poros de maior raio que contêm água, de modo que a condutividade aumenta quando aumenta a macroporosidade do solo (e, portanto, quando aumenta a porosidade total e diminui a densidade do solo).

Na prática, a relação inversa entre condutividade hidráulica e compactação é sustentada pela preponderância na literatura de trabalhos com esse padrão de resultado. Sales et al. (1999), avaliando um Latossolo e um Argissolo em Lavras-MG, verificaram correlações significativas entre a velocidade de infiltração básica (VIB, determinada com o infiltrômetro de anéis concêntricos) e os atributos físicos do solo estudados, sendo negativo com a densidade e positivo com a porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica na saturação (K_0 , determinada com o permeâmetro de carga constante). Kamimura et al. (2009), em um Latossolo em Selviria-MS cultivado com arroz, estudando as alterações dos atributos físicos em função de

sistemas de manejo do solo e da água, verificaram efeitos do manejo de solo (mas não do de água) sobre as variáveis estruturais (densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e de dinâmica de água (infiltração e condutividade hidráulica na saturação)). Dos resultados de Kamimura et al. (2009) pode-se inferir que os menores valores de condutividade hidráulica e infiltração estiveram associados aos maiores valores de densidade e os menores de porosidade total e macroporosidade (ou seja, às maiores compactações). Stone et al. (2002), em colunas remoldadas de um Latossolo Vermelho cultivadas com feijão em Santo Antônio de Goiás-GO, verificaram que a condutividade hidráulica (K) determinada com um infiltrômetro de tensão (sob sucções de 0,05, 0,20 e 0,60 kPa) decresceu com o aumento da densidade do solo (e com a diminuição da porosidade total e macroporosidade).

Quanto à sortividade dos agregados do solo para atingir a saturação com água ($S_{0-água}$), cujos resultados também estão apresentados na Tabela 3, a análise estatística mostrou que o efeito da cobertura vegetal diferiu entre as camadas, sendo que na 0-0,10 m o valor de $S_{0-água}$ foi superior no pasto, intermediário na acácia e ingá e inferior no sabiá e capoeira, enquanto na 0,10-0,20 m os maiores valores ocorreram no ingá, pasto e acácia e os menores na capoeira e sabiá. Comparando-se as camadas do solo, observa-se superioridade da 0-0,10 m sobre a 0,10-0,20 m para o pasto, da 0,10-0,20 m sobre a 0-0,10 m para o ingá, sabiá e acácia e equivalência entre as camadas para a capoeira. Pode-se verificar a semelhança de comportamento estatístico (em resposta às coberturas vegetais e camadas do solo) entre os valores de $K_{0-água}$ e os de $S_{0-água}$. Ambas as variáveis são dependentes da porosidade do solo, sendo que $K_{0-água}$ representa a capacidade de um solo saturado em transmitir água através de seus poros sob gradiente de potencial total unitário (ou seja, em resposta, por exemplo, ao gradiente de potencial gravitacional), enquanto $S_{0-água}$ representa a capacidade que um solo possui de absorver água de uma umidade inicial até atingir sua saturação por efeito das forças capilares (ou seja, em resposta ao gradiente de potencial mátrico). Enquanto para $K_{0-água}$ a presença de poros grandes é absolutamente preponderante, para $S_{0-água}$ possivelmente uma distribuição mais equânime das classes de tamanhos de poros pode ter maior relevância.

Embora sortividade e condutividade representem aspectos distintos da dinâmica da água no solo, a expectativa para a relação entre sortividade e outros atributos físicos é similar à já mencionada relação entre condutividade e esses mesmos atributos físicos. Em resumo, haveria uma relação inversa entre sortividade e compactação do solo, de modo que o aumento da densidade (e, portanto, redução da porosidade total e macroporosidade) levaria à diminuição dos valores de sortividade.

Na Tabela 3 constam ainda os resultados de sortividade intrínseca ($S_{i-água}$) e a permeabilidade intrínseca ($k_{i-água}$). Para $k_{i-água}$ o comportamento estatístico (em resposta às coberturas vegetais e camadas do solo) não difere em nada do discutido para a $K_{0-água}$, já que seu valor é obtido pelo produto da condutividade pela viscosidade da água (η_a), que a uma dada temperatura é constante (equação 3). De modo similar à condutividade hidráulica, a permeabilidade intrínseca depende, além do conteúdo volumétrico de água, da quantidade, forma, tamanho e continuidade de poros (Roseberg e McCoy, 1990). Para $S_{i-água}$ o comportamento estatístico frente aos tratamentos é também idêntico ao verificado para $S_{0-água}$, já que seu valor é obtido a partir da sortividade efetiva, por meio da equação 4, que computa a propriedades da água viscosidade (η_a) e tensão superficial (σ_a), que a uma dada temperatura são constantes.

A infiltração da água no solo é, no todo, um processo que ocorre em condições transientes, em que tanto a umidade quanto o fluxo do líquido variam no tempo e no espaço. No entanto, em um tempo suficientemente longo, na região de contato entre a fonte de água e o solo, estabelece-se a condição de equilíbrio dinâmico, em que o fluxo de água não mais varia com o tempo (como também não variam a umidade e os gradientes de potencial). Em função disso, em inúmeros trabalhos (Argenton et al., 2005; Barbosa, 2012; Abrão et al., 2015) a condutividade hidráulica é com sucesso obtida a partir da modelagem da infiltração da água no solo, sendo os valores geralmente coerentes com os demais atributos físicos do solo.

As incongruências entre condutividade hidráulica e compactação do solo apontadas no presente trabalho podem, então, estar associadas ao não cumprimento de alguma condição de contorno admitida durante o processo de infiltração. Quando uma fonte externa de água é colocada em contato com o

solo, é pressuposto que se estabeleça, instantaneamente, o íntimo contato entre água e as partículas, assumindo-se que o ângulo de contato água-solo seja $\alpha = 0^\circ$ (Libardi, 2005). Na prática, pode haver no solo a presença de substâncias orgânicas hidrofóbicas que, mesmo em pequena quantidade, podem revestir as partículas minerais e fazer com que o ângulo de contato água-solo assumam valores muito superiores a zero e, mesmo, superiores a 90° , induzindo uma condição de expressiva hidrorrepelência (Bastos et al., 2005, Dekker et al., 2009).

Quando, no presente trabalho, os ensaios de infiltração foram feitos utilizando o etanol, os resultados obtidos para as variáveis relacionadas à sua dinâmica no solo (Tabela 4) foram bastante distintos daqueles verificados para a água (Tabela 3), para ambas as camadas (0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade). Os valores de condutividade na saturação ($K_{0\text{-etanol}}$), assim como os de permeabilidade intrínseca ($k_{i\text{-etanol}}$), não diferiram nem entre as coberturas vegetais, nem entre as camadas estudadas (Tabela 4). Para a sortividade dos agregados em relação ao etanol para atingir a saturação ($S_{0\text{-etanol}}$), verificou-se que, em ambas as camadas, os maiores valores ocorreram no pasto, mas foram elevados também sob capoeira, não diferindo do pasto, enquanto para as coberturas arbóreas implantadas (acácia, ingá e sabiá) os valores de sortividade foram baixos, estatisticamente inferiores ao pasto (Tabela 4). Portanto, a utilização, no processo de infiltração, de um líquido apolar, pouco sujeito a fenômenos de repelência por parte de moléculas orgânicas presentes no solo, leva a um diagnóstico completamente distinto para a relação entre os atributos do solo associados à sua condição estrutural e aqueles relacionados aos processos dinâmicos no espaço poroso.

No caso da $K_{0\text{-etanol}}$ e $k_{i\text{-etanol}}$, o resultado do presente trabalho ainda contraria a expectativa de relação inversa entre estes atributos e a compactação do solo, uma vez que, conforme a Tabela 2, há ampla variação dos valores de densidade e porosidade entre as coberturas vegetais e camadas de solo estudadas e seria esperado que tais variações se propagassem para os valores de $K_{0\text{-etanol}}$ e $k_{i\text{-etanol}}$. No entanto, essa ausência de diferença estatística se justifica, em parte, pela elevada variabilidade dos dados, que apresentam coeficientes de variação da ordem de 50%. Tal ocorrência, corroborada por inúmeros outros resultados da literatura (Sales et

al., 1999; Kamimura et al., 2009), faz com que diferenças estatísticas somente ocorram mediante diferenças expressivas na magnitude dos valores (como pode ser observado com $K_{0\text{-}\text{água}}$ e $k_{i\text{-}\text{água}}$, na Tabela 3).

Tabela 4: Condutividade de etanol do solo saturado, efetiva ($K_{0\text{-}\text{etanol}}$) e intrínseca ($k_{i\text{-}\text{etanol}}$), e sortividade de etanol para atingir a saturação, efetiva ($S_{0\text{-}\text{etanol}}$) e intrínseca ($S_{i\text{-}\text{etanol}}$), de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, nas camadas de profundidade 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0-0,20 m (média), em Conceição de Macabú, RJ

Cobertura Vegetal	$K_{0\text{-}\text{etanol}}$ (mm h⁻¹)	$k_{i\text{-}\text{etanol}}$ (mm²)	$S_{0\text{-}\text{etanol}}$ (mm³ s^{-1/2})	$S_{i\text{-}\text{etanol}}$ (mm^{-1/2})
Camada 0 - 0,10 m				
Capoeira	691,3	23,043	0,788	0,180
Acácia	542,1	18,071	0,643	0,147
Ingá	443,7	14,791	0,607	0,139
Sabiá	631,1	21,038	0,707	0,161
Pasto	731,0	24,366	0,789	0,180
Média	607,9 A	20,262 A	0,707 A	0,161 A
Camada 0,10 - 0,20 m				
Capoeira	539,9	17,998	0,766	0,175
Acácia	636,2	21,206	0,639	0,146
Ingá	574,3	19,143	0,686	0,157
Sabiá	444,5	14,817	0,591	0,135
Pasto	731,6	24,388	0,797	0,182
Média	585,3A	19,510 A	0,696 A	0,159 A
Média das camadas (0 - 0,20 m)				
Capoeira	615,6a	20,521 a	0,777ab	0,177 ab
Acácia	589,2a	19,639 a	0,641b	0,146 b
Ingá	509,0a	16,967 a	0,646b	0,148 b
Sabiá	537,8a	17,928 a	0,649b	0,148 b
Pasto	731,3a	24,377 a	0,793a	0,181 a
Média	596,6	19,886	0,701	0,160
CV (%)**	51,98	51,98	17,13	17,13

Obs.: Para cada coluna, médias seguidas de mesma letra maiúscula (que comparam as camadas) ou de mesma letra minúscula (que comparam as coberturas) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No caso da $S_{0\text{-}\text{etanol}}$ e $S_{i\text{-}\text{etanol}}$, diferentemente do que se verificou para a infiltração com água, os resultados observados para os talhões com coberturas arbóreas vão ao encontro das expectativas baseadas na Lei de Poiseuille, com os maiores valores de sortividade associando-se às condições de menor compactação (ou seja, aos menores valores de densidade e maiores de porosidade total e microporosidade). Para a área sob pasto, a superioridade dos valores de sortividade representa ainda uma incongruência em relação à Lei de Poiseuille e aos atributos estruturais do solo, pois ocorreu a despeito de

sua maior compactação (Tabela 2). No entanto, aí podem estar envolvidos outros aspectos ainda não mencionados, como uma ocorrência de uma distribuição mais equânime dos poros em classes de tamanho e de uma maior continuidade desses poros (o que poderia ser consequência da atuação do sistema radicular fasciculado das gramíneas). De fato, Gomes (2016), estudando o solo da presente área quanto à distribuição dos poros em classes de tamanho, identificou que na camada 0-0,10 m de profundidade a ocorrência de mesoporos (com diâmetro entre 30 e 100 μm) foi significativamente maior sob pasto do que sob as demais coberturas vegetais.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados obtidos para a sortividade do solo para atingir a tensão de 0,20 kPa, tanto a efetiva - com água e etanol (respectivamente $S_{20\text{-}\text{água}}$ e $S_{20\text{-}\text{etanol}}$), quanto a intrínseca - com água e etanol (respectivamente $S_{i20\text{-}\text{água}}$ e $S_{i20\text{-}\text{etanol}}$), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. Tais variáveis são utilizadas para a obtenção do ângulo de contato água-solo (α , $^{\circ}$) e do índice de hidrofobicidade, também apresentadas na Tabela 5 para as referidas camadas. Para os valores do índice de hidrofobicidade - ou índice de repelência à água (índice R), calculado a partir da equação 18, para o solo de cada cobertura vegetal e camada do solo estudada. Observa-se que o efeito da cobertura vegetal diferiu entre as camadas de solo, sendo que na 0-0,10 m o maior valor ocorreu no sabiá e menor no pasto, este sem diferir da acácia e ingá (o valor na capoeira foi inferior ao do sabiá e superior ao do pasto e ingá, mas não superior ao da acácia). Na camada 0,10-0,20 m o maior valor ocorreu na capoeira e o menor na acácia, esta sem diferir do ingá, sabiá e pasto. Não houve diferença entre as camadas para as coberturas acácia, ingá e pasto, mas houve para a capoeira (maior na 0,10-0,20 m do que na 0-0,10 m) e para o sabiá (maior na 0-0,10 m do que na 0,10-0,20 m).

Considerando que o solo é tido como hidrofóbico apenas quando o valor do índice R é maior que 1,95, verifica-se que na camada superficial (0-0,10 m) somente o pasto não se mostrou hidrorrepelente, enquanto nas coberturas vegetais arbóreas, em que há deposição de restos vegetais em superfície, houve ocorrência de hidrofobicidade (Tabela 5).

Tabela 5: Sortividade do solo para atingir a tensão de 0,20 kPa, tanto a efetiva - com água e etanol (respectivamente $S_{20\text{-}\text{água}}$ e $S_{20\text{-}\text{etanol}}$), quanto a intrínseca - com água e etanol (respectivamente $S_{i20\text{-}\text{água}}$ e $S_{i20\text{-}\text{etanol}}$), índice de hidrofobicidade (R, adimensional) e ângulo de contato água-solo (α , °), para as camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0-0,20 m (média), de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob as coberturas vegetais capoeira, acácia, ingá, sabiá e pasto, em Conceição de Macabú, RJ

Cobertura Vegetal	$S_{20\text{-}\text{água}}$ ----(mm³ s^{-1/2}) ----	$S_{20\text{-}\text{etanol}}$ ----	$S_{i20\text{-}\text{água}}$ ----(mm^{-1/2})----	$S_{i20\text{-}\text{etanol}}$ ----	R -	α (°)
Camada 0 - 0,10 m						
Capoeira	0,194 cdA	0,482	0,023	0,110	5,08bB	78,0abA
Acácia	0,336 bcB	0,415	0,039	0,095	2,51bcA	64,9bcA
Ingá	0,441 bB	0,376	0,052	0,086	2,04cA	47,3 cA
Sabiá	0,099 dA	0,419	0,012	0,096	8,43aA	82,6 aA
Pasto	0,949 aA	0,539	0,111	0,123	1,12cA	24,3 dB
Média	0,40	0,446A	0,047	0,102	3,84	59,4
Camada 0,10 - 0,20 m						
Capoeira	0,164bA	0,531	0,066	0,121	7,97aA	80,4 aA
Acácia	0,566aA	0,381	0,064	0,087	1,33bA	38,0 bB
Ingá	0,545aA	0,429	0,023	0,098	1,58bA	47,0 bA
Sabiá	0,194bA	0,388	0,068	0,089	4,04bB	74,8 aA
Pasto	0,584aB	0,522	0,048	0,119	1,78bA	54,3 bA
Média	0,410	0,450 A	0,021	0,103	3,34	58,9
Média das camadas (0 - 0,20 m)						
Capoeira	0,179	0,506ab	0,058	0,019	6,53	79,2
Acácia	0,451	0,398b	0,017	0,066	1,92	51,4
Ingá	0,493	0,403b	0,090	0,064	1,81	47,2
Sabiá	0,146	0,403b	0,048	0,023	6,23	78,7
Pasto	0,767	0,551a	0,023	0,068	1,45	39,3
Média	0,407	0,448	0,039	0,048	3,59	59,2
CV (%)**	23,29	14,68	23,29	17,13	54,05	16,13

Obs.: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula (que comparam camadas), na linha, ou de mesma letra minúscula (que comparam coberturas), na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada 0,10-0,20 m os valores do índice R foram mais baixos, sendo o solo das coberturas acácia e ingá claramente não hidrofóbicos, o do pasto estando ligeiramente acima do referido limite, e os da capoeira e sabiá com elevada hidrofobicidade. O comportamento hidrofóbico do solo sob acácia e sabiá, observado em ambas as camadas, pode ter como causa a presença em sua serapilheira de compostos orgânicos hidrofóbicos que são liberados ao solo durante sua decomposição, ou mesmo compostos que são produzidos pelos micro-organismos durante esse processo. Pelo exposto, fica evidente que, em certas situações, a tentativa de associar atributos relacionados à

dinâmica da água com atributos estruturais do solo pode não ser bem-sucedida, sendo esse insucesso decorrente de se admitir aspectos específicos da afinidade do contato água-solo de forma equivocada.

Para o ângulo de contato (Tabela 5), a análise estatística mostrou que o efeito da cobertura vegetal diferiu entre as camadas. Na 0-0,10 m o valor de α foi superior no sabiá e capoeira, intermediário no ingá e inferior no pasto (capoeira e sabiá apresentaram valores que não diferiram nem da acácia, por um lado, nem do ingá, por outro lado). Na 0,10-0,20 m os maiores valores também ocorreram na capoeira e no ingá e o menor na acácia, enquanto ingá e pasto apresentaram valores intermediários, sem diferirem da acácia.

Na Tabela 6, observa-se que as correlações, tanto para a água quanto para o etanol, não foram significativas para nenhum dos atributos relacionados à matriz do solo (areia, silte e argila). Em relação aos atributos físicos relacionados à estrutura do solo (densidade, porosidade total e frações da porosidade), enquanto para $K_{0\text{-etanol}}$ (e também $k_{i\text{-etanol}}$) não houve correlações significativas, para $K_{0\text{-água}}$ (e também $k_{i\text{-água}}$) correlações significativas ocorreram, porém com sinal positivo para a densidade e microporosidade e sinal negativo para a porosidade e macroporosidade, inverso ao que seria esperado com base na Lei de Poiseuille e ao que é usual na literatura (Antonino et al., 2004; Fuentes et al., 2005). Ainda em relação aos atributos físicos estruturais do solo, enquanto para a sortividade de água ($S_{0\text{-água}}$ e $S_{20\text{-água}}$) as correlações foram significativas e com sinal inverso ao que seria esperado com base na Lei de Poiseuille (tal como mencionado para $K_{0\text{-água}}$ e $k_{i\text{-água}}$), para a sortividade de etanol ($S_{0\text{-etanol}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$) as correlações foram significativas e com sinal condizente com o esperado com base na Lei de Poiseuille (negativo para a densidade e positivo para a porosidade total, macroporosidade e, também, para a mesoporosidade). Para o índice R as correlações foram similares às verificadas para $S_{0\text{-etanol}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$, não significativa para os atributos relacionados à matriz do solo e significativas para os atributos físicos relacionados à estrutura do solo, sendo o sinal negativo para a densidade e microporosidade e positivo para a porosidade total e macroporosidade).

Tabela 6: Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos relacionados à dinâmica da água e etanol, com os atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob as coberturas vegetais capoeira, acácia, ingá, sabiá e pasto, nas camadas de profundidade 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, em Conceição de Macabú, RJ

	Areia	Silte	Argila	Dens. solo	Poros. total	Macro1	Micro1	Macro2	Meso	Micro2	Cripto
K₀-água	-0,1453	0,2332	0,0944	0,282*	-0,282*	-0,3352**	0,3379**	-0,3623**	0,2312	0,5272**	-0,0164
S₀-água	-0,1147	0,2403	0,0562	0,3988**	-0,3988**	-0,4349**	0,3889**	-0,4536**	0,1619	0,659**	-0,051
S₂₀-água	-0,0724	0,2104	0,0162	0,4215**	-0,4215**	-0,448**	0,3849**	-0,4657**	0,1508	0,6766**	-0,0736
k_i-água	-0,1453	0,2332	0,0944	0,2820*	-0,2820*	-0,3352**	0,3379**	-0,3623**	0,2312	0,5272**	-0,0164
K₀-etanol	-0,0097	0,0718	-0,012	-0,0077	0,0077	0,0258	-0,0469	0,0203	0,0441	0,0137	-0,1064
S₀-etanol	-0,1274	0,0886	0,1206	-0,2886*	0,2886*	0,2797*	-0,202	0,2474	0,2726*	-0,1633	-0,2411
S₂₀-etanol	-0,2139	0,1314	0,2082	-0,3037*	0,3037*	0,2705*	-0,1585	0,2218	0,4052**	-0,1249	-0,2333
k_i-etanol	-0,0097	0,0718	-0,012	-0,0077	0,0077	0,0258	-0,0469	0,0203	0,0441	0,0137	-0,1064
α	0,0052	-0,1524	0,0438	-0,3504**	0,3504**	0,3378**	-0,2414	0,3317**	0,0536	-0,4010**	-0,0109
R	0,0074	-0,2177	0,0625	-0,5005**	0,5005**	0,4826**	-0,3449**	0,4739**	0,0765	-0,5728**	-0,0156

Obs.: Valores de coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito são significativos pelo teste t à probabilidade de 5% (*) ou de 1% (**).

Na tabela 7 verifica-se que a sortividade de água ($S_{0\text{-água}}$ e $S_{20\text{-água}}$) apresentou correlações significativas com o teor de matéria orgânica, e que sortividade de água e condutividade hidráulica ($K_{0\text{-água}}$, $S_{0\text{-água}}$, $S_{20\text{-água}}$ e $k_{i\text{-água}}$) apresentaram correlações significativas com a CTC_{efetiva} e $CTC_{\text{pH}=7}$, sendo essas correlações todas negativas, revelando que, no presente caso, em que a atividade química do solo é determinada pela matéria orgânica, os citados atributos químicos interferem negativamente no contato água-solo (enquanto, na faixa de variação em que encontram no presente solo, os demais atributos químicos avaliados - pH, Al e SB - não tiveram nenhuma significância para os atributos hidrodinâmicos). Para os atributos relacionados à dinâmica de etanol houve correlações significativas apenas de $S_{20\text{-etanol}}$ com a CTC_{efetiva} (negativa) e de $K_{0\text{-etanol}}$ e $k_{i\text{-etanol}}$ com o pH (positiva). Para o índice R as correlações significativas apareceram no C-org, Al e na $CTC_{\text{pH}=7}$ (todas positivas), indicando mais uma vez que o aumento do teor de matéria orgânica aumentou a hidrofobicidade.

Tabela 7: Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos relacionados à dinâmica da água e etanol, com os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob as coberturas vegetais capoeira, acácia, ingá, sabiá e pasto, nas camadas de profundidade 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, em Conceição de Macabú, RJ

	C-org	pH	Al	SB	CTC_{efetiva}	$CTC_{\text{pH}=7}$
$K_{0\text{-água}}$	-0,2085	0,0511	-0,1721	-0,2363	-0,3867**	-0,4455**
$S_{0\text{-água}}$	-0,3287**	0,0756	-0,2414	-0,2357	-0,4292**	-0,5111**
$S_{20\text{-água}}$	-0,3505**	0,0842	-0,2401	-0,2438	-0,4379**	-0,5075**
$k_{i\text{-água}}$	-0,2085	0,0511	-0,1721	-0,2363	-0,3867**	-0,4455**
$K_{0\text{-etanol}}$	0,0199	0,2709*	-0,1258	0,0168	-0,0583	0,1346
$S_{0\text{-etanol}}$	0,0989	0,0667	-0,0039	-0,1463	-0,1757	0,0981
$S_{20\text{-etanol}}$	0,0773	-0,1098	0,0525	-0,2433	-0,2555*	-0,0306
$k_{i\text{-etanol}}$	0,0199	0,2709*	-0,1258	0,0168	-0,0583	0,1346
α	0,2667*	-0,0979	0,2543*	0,0426	0,2085	0,3321**
R	0,2931*	-0,1076	0,2794*	0,0468	0,2291	0,3649**

Obs.: Valores de coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito são significativos pelo teste t à probabilidade de 5% (*) ou de 1% (**).

Relacionando os resultados obtidos com os de outros trabalhos, Bastos et al. (2005), que analisaram o efeito do tempo de incubação e dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a ação de compostos orgânicos hidrofóbicos e hidrofílicos na agregação do solo, concluíram que os compostos orgânicos com caráter hidrofóbico acentuado tiveram efeito positivo e significativo na melhoria da estabilidade dos agregados em água, ou seja, houve repelência da água prejudicando a interação.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de condutividade hidráulica do solo saturado ($K_{0\text{-}\text{água-corr}}$), recalculados a partir da equação 12 e dos valores de permeabilidade intrínseca obtidos com o etanol ($k_{i\text{-}\text{etanol}}$), admitidos como corretos, já que se trata de um líquido apolar. A análise estatística de $K_{0\text{-}\text{água-corr}}$ (em relação aos tratamentos cobertura vegetal e camada do solo) não foi feita e apresentada, pois evidentemente seria exatamente a mesma obtida para a variável $k_{i\text{-}\text{etanol}}$ (já que $K_{0\text{-}\text{água-corr}}$ é o quociente de $k_{i\text{-}\text{etanol}}$ pela viscosidade da água, η , constante a uma temperatura fixa). Comparando-se a condutividade hidráulica ($K_{0\text{-}\text{água}}$), medida efetivamente usando a infiltração com água (Tabela 3), e a condutividade hidráulica corrigida ou esperada ($K_{0\text{-}\text{água-corr}}$), estimada a partir da condutividade intrínseca obtida com o etanol (Tabela 4), verifica-se que as coberturas capoeira, sabiá e acácia promoveram reduções expressivas na condutividade hidráulica, sendo, na média das duas camadas, de 92%, 86% e 48%, respectivamente (enquanto para o pasto e ingá os valores medidos, em média, superaram os valores esperados em 52% e 30%, respectivamente).

Na Tabela 8 estão apresentados também os resultados de sortividade do solo para saturação com água ($S_{0\text{-}\text{água-corr}}$), recalculados pela equação 14 a partir dos valores de sortividade intrínseca obtidos com o etanol ($k_{i\text{-}\text{etanol}}$) admitidos como corretos, por tratar-se de líquido apolar. Também nesse caso, a análise estatística de $S_{0\text{-}\text{água-corr}}$ (em relação aos tratamentos cobertura vegetal e camada do solo) não foi feita e apresentada, pois evidentemente seria exatamente a mesma obtida para a variável $S_{0\text{-}\text{etanol}}$ (já que $S_{0\text{-}\text{água-corr}}$ é o produto de $S_{0\text{-}\text{etanol}}$ por uma constante de valor 1,95). Comparando-se a sortividade do solo para sua saturação de água ($S_{0\text{-}\text{água}}$), medida efetivamente usando a infiltração com água (Tabela 3), e essa mesma sortividade corrigida ou esperada ($S_{0\text{-}\text{água-corr}}$), estimada a partir da sortividade do solo para sua

saturação com etanol (Tabela 8), verifica-se que as coberturas capoeira, sabiá e acácia promoveram reduções na sortividade de água, sendo, na média das duas camadas, de 84%, 82% e 56%, respectivamente (enquanto para o pasto e ingá essas reduções foram, em média, de 33% e 41%, respectivamente).

Tabela 8: Valores previstos de condutividade hidráulica na saturação ($K_{0\text{-}\text{água-Corr}}$) e de sortividade hidráulica para atingir a saturação ($S_{0\text{-}\text{água-Corr}}$), calculados para a ausência de hidrofobicidade com base, respectivamente, na permeabilidade e sortividade intrínsecas obtidas com etanol, e os percentuais de incremento (Inc.; positivos) ou redução (Red.; negativos) dos valores medidos (Tabela 3) em relação aos previstos, para agregados das camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, em Conceição de Macabú, RJ

Cobertura Vegetal	$K_{0\text{-}\text{água-Corr}}$ (mm h^{-1})	Inc. ou Red. (%)	$S_{0\text{-}\text{água-Corr}}$ ($\text{mm}^3 \text{s}^{-1/2}$)	Inc. ou Red. (%)
Camada 0 - 0,10 m				
Capoeira	671,9	-92%	1,54	-83%
Acácia	527,0	-56%	1,25	-63%
Ingá	431,3	13%	1,18	-45%
Sabiá	613,5	-97%	1,38	-90%
Pasto	710,5	105%	1,54	-18%
Média	590,8	-25%	1,38	-60%
Camada 0,10 - 0,20 m				
Capoeira	524,8	-92%	1,49	-86%
Acácia	618,4	-41%	1,25	-44%
Ingá	558,2	47%	1,34	-38%
Sabiá	432,1	-76%	1,15	-75%
Pasto	711,1	-1%	1,56	-47%
Média	568,9	-32%	1,36	-58%
Média das camadas (0 - 0,20 m)				
Capoeira	598,4	-92%	1,51	-84%
Acácia	572,7	-48%	1,25	-53%
Ingá	494,7	30%	1,26	-41%
Sabiá	522,8	-86%	1,27	-82%
Pasto	710,8	52%	1,55	-33%
Média	579,9	-29%	1,37	-59%

4.2. Atributos hidrodinâmicos e de afinidade água-solo em agregados do horizonte subsuperficial (Bt) do solo (camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade).

Na Tabela 9 são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de infiltração utilizando-se o mini-infiltrômetro de tensão, com água e com etanol, em agregados do solo coletados das camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade. Apesar de tal conjunto de dados não ter sido obtido com repetições que possibilitassem a comparação das coberturas vegetais e camadas do solo por meio da análise de variância, permite observar que a magnitude dos valores observados nessas camadas permaneceu na mesma ordem de grandeza dos observados nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade.

Para a infiltração com água, nas camadas profundas (entre 0,20 e 1,00 m) os maiores valores de condutividade e sortividade ocorreram na capoeira e sabiá e os menores no pasto e ingá (Tabela 9), representando uma completa inversão em relação ao comportamento das camadas superficiais, em que capoeira e sabiá apresentaram os menores valores e pasto e ingá os maiores (Tabela 3). Em ambos os casos a acácia, em geral, mostrou valores intermediários. Por outro lado, para a infiltração com etanol não ocorrem as acima mencionadas diferenças de comportamento entre coberturas vegetais quanto aos valores de condutividade e sortividade nas camadas profundas (Tabela 9) e superficiais (Tabela 4). Para as variáveis índice de hidrofobicidade (R) e ângulo de contato (α), verifica-se que a capoeira e sabiá apresentaram os menores valores e pasto o maior onde deixou de ser hidrofóbico apenas na camada 0,80-1,00 m, justificando a inversão de valores que ocorreu em relação às camadas superficiais.

Nas tabelas 10 e 11 são apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos relacionados à dinâmica da água e etanol e, respectivamente, os atributos físicos e os químicos do solo, obtidos para o conjunto dos dados das camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade.

Tabela 9: Atributos relacionados à dinâmica da água e etanol e ao contato água-solo, obtidos a partir dos ensaios com mini-infiltrômetro de tensão, em agregados do solo coletados das camadas 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m de profundidade, em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, em Conceição de Macabú, RJ

	K_0 -água	k_i -água	S_0 -água	S_i -água	S_{20} -água	S_{20i} -água	K_0 -etanol	k_i -etanol	S_0 -etanol	S_i -etanol	S_{20} -etanol	S_{20i} -etanol	R	α
	mm h ⁻¹	mm ²	mm ³ s ^{-1/2}	mm ^{-1/2}	mm ³ s ^{-1/2}	mm ^{-1/2}	mm h ⁻¹	mm ²	mm ³ s ^{-1/2}	mm ^{-1/2}	mm ³ s ^{-1/2}	mm ^{-1/2}	-	°
0,20 - 0,40 m														
Capoeira	1341,7	37,27	1,047	0,123	0,690	0,081	145,7	4,86	0,334	0,076	0,210	0,048	0,595	0,0
Acácia	156,6	4,35	0,372	0,044	0,267	0,031	541,5	18,05	0,521	0,119	0,198	0,045	1,447	46,3
Ingá	48,0	1,33	0,448	0,052	0,421	0,049	158,1	5,27	0,470	0,107	0,380	0,087	1,756	55,3
Sabiá	19,2	0,53	0,384	0,045	0,372	0,044	239,2	7,97	0,302	0,069	0,355	0,081	1,860	57,5
Pasto	199,8	5,55	0,492	0,058	0,366	0,043	1232,2	41,07	0,918	0,210	0,422	0,096	2,250	63,6
0,40 - 0,60 m														
Capoeira	948,0	26,33	1,208	0,141	0,993	0,116	1062,5	35,42	0,898	0,205	0,526	0,120	1,033	14,5
Acácia	205,9	5,72	0,446	0,052	0,319	0,037	380,1	12,67	0,528	0,121	0,315	0,072	1,929	58,8
Ingá	42,6	1,18	0,447	0,052	0,421	0,049	173,3	5,78	0,521	0,119	0,423	0,097	1,961	59,3
Sabiá	295,5	8,21	0,682	0,080	0,572	0,067	284,3	9,48	0,447	0,102	0,456	0,104	1,553	49,9
Pasto	131,2	3,64	0,490	0,057	0,408	0,048	670,7	22,36	0,883	0,202	0,637	0,146	3,043	70,8
0,60 - 0,80 m														
Capoeira	230,3	6,40	0,808	0,095	0,729	0,085	651,3	21,71	0,802	0,183	0,546	0,125	1,460	46,8
Acácia	555,3	15,42	0,683	0,080	0,412	0,048	36,1	1,20	0,454	0,104	0,452	0,103	2,139	62,1
Ingá	14,6	0,41	0,438	0,051	0,428	0,050	342,5	11,42	0,682	0,156	0,527	0,120	2,397	65,3
Sabiá	382,8	10,63	0,760	0,089	0,619	0,072	623,3	20,78	0,692	0,158	0,402	0,092	1,267	37,9
Pasto	28,3	0,79	0,288	0,034	0,258	0,030	265,0	8,83	0,730	0,167	0,619	0,141	4,676	77,7
0,80 - 1,00 m														
Capoeira	383,2	10,64	0,651	0,076	0,472	0,055	466,5	15,55	0,625	0,143	0,384	0,088	1,585	50,9
Acácia	234,0	6,50	0,553	0,065	0,431	0,050	23,5	0,78	0,253	0,058	0,429	0,098	1,938	58,9
Ingá	2,4	0,07	0,333	0,039	0,386	0,045	230,4	7,68	0,445	0,102	0,461	0,105	2,326	64,5
Sabiá	230,3	6,40	0,627	0,073	0,522	0,061	923,1	30,77	0,740	0,169	0,252	0,058	0,941	0,0
Pasto	757,6	21,04	0,827	0,097	0,511	0,060	503,8	16,79	0,691	0,158	0,443	0,101	1,692	53,8

Tabela 10: Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos relacionados à dinâmica da água e etanol, com os atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob as coberturas vegetais capoeira, acácia, ingá, sabiá e pasto, nas camadas de profundidade 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m, em Conceição de Macabú, RJ

	Areia	Silte	Argila	Dens. solo	Poros.total	Macro1	Micro1	Macro2	Mesop	Micro2	Cripto
K _{0-água}	0,3222	-0,3563	-0,1926	0,1977	-0,1977	-0,1677	0,0761	-0,1426	-0,2238	-0,1871	0,2244
S _{0-água}	0,1886	-0,3352	-0,0754	0,1173	-0,1173	-0,1695	0,1574	-0,1601	-0,1159	-0,1262	0,2740
S _{20-água}	0,0512	-0,1831	0,0066	0,0928	-0,0928	-0,1968	0,2251	-0,2060	0,0017	-0,0829	0,3149
k _{i-água}	0,3222	-0,3563	-0,1926	0,1977	-0,1977	-0,1677	0,0761	-0,1426	-0,2238	-0,1871	0,2244
S _{i-água}	0,1886	-0,3352	-0,0754	0,1173	-0,1173	-0,1695	0,1574	-0,1601	-0,1159	-0,1262	0,2740
K _{0-etanol}	0,3675	0,0955	-0,3675	-0,1435	0,1435	0,4160	-0,5273*	0,4401*	-0,0848	-0,3184	-0,4474*
S _{0-etanol}	0,3402	0,1673	-0,3635	-0,5192*	0,5192*	0,6914**	-0,6026**	0,6881**	0,1652	-0,2158	-0,6250**
S _{20-etanol}	0,2260	0,2261	-0,2753	-0,7153**	0,7153**	0,6004**	-0,2653	0,5571*	0,4366	0,1245	-0,4422*
k _{i-etanol}	0,3675	0,0955	-0,3675	-0,1435	0,1435	0,4160	-0,5273*	0,4401*	-0,0848	-0,3184	-0,4474*
S _{i-etanol}	0,3402	0,1673	-0,3635	-0,5192*	0,5192*	0,6914**	-0,6026**	0,6881**	0,1652	-0,2158	-0,6250**
α	0,0200	0,2127	-0,0812	-0,4086**	0,4086**	0,4308**	-0,2923*	0,4157**	0,2107	0,0937	-0,4296**
R	0,2410	0,2463	-0,2952	-0,5771**	0,5771**	0,5983**	-0,3967	0,5799**	0,2658	0,0513	-0,5364*

Obs.: Valores de coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito são significativos pelo test t à probabilidade de 5% (*) ou de 1% (**).

Tabela 11: Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos relacionados à dinâmica da água e etanol, com os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob as coberturas vegetais capoeira, acácia, ingá, sabiá e pasto, nas camadas de profundidade 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m, 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m, em Conceição de Macabú, RJ

	C-org	pH	AI	SB	CTC_{efet}	CTC_{pH=7}
K_{0-água}	0,3738	-0,4012	0,4407*	-0,1036	0,1951	0,5715**
S_{0-água}	0,2272	-0,2994	0,5006*	-0,2137	0,1511	0,6328**
S_{20-água}	0,1524	-0,0921	0,5095*	-0,2965	0,0958	0,6476**
k_{i-água}	0,3738	-0,4012	0,4407*	-0,1036	0,1951	0,5715**
S_{i-água}	0,2272	-0,2994	0,5006*	-0,2137	0,1511	0,6328**
K_{0-etanol}	0,0087	0,1795	-0,1482	-0,1685	-0,2151	0,1427
S_{0-etanol}	-0,1069	0,2878	-0,3119	-0,4483*	-0,5216*	0,0205
S_{20-etanol}	-0,2131	0,2771	-0,3283	-0,6135**	-0,6530**	-0,2242
k_{i-etanol}	0,0087	0,1795	-0,1482	-0,1685	-0,2151	0,1427
S_{i-etanol}	-0,1069	0,2876	-0,3121	-0,4483*	-0,5216**	0,0205
α	-0,1511	0,2247	-0,5918**	-0,0888	-0,4296**	-0,5597**
R	-0,1813	0,2010	-0,5688**	-0,2256	-0,5160	-0,5294*

Obs.: Valores de coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito são significativos pelo test t à probabilidade de 5% (*) ou de 1% (**).

Na Tabela 10, as correlações para a água não foram significativas para nenhum dos atributos relacionados à matriz do solo (areia, silte e argila) e nem para os relacionados à estrutura do solo (densidade, porosidade total e frações da porosidade). Para o etanol, as correlações também não foram significativas para nenhum dos atributos relacionados à matriz, porém para os atributos físicos relacionados à estrutura do ocorreram correlações significativas para o $K_{0\text{-etanol}}$ (e também $k_{i\text{-etanol}}$), com sinal negativo para a microporos 1 e criptoporos, e sinal positivo para a macroporosidade na escala detalhada (macro2). Ainda em relação aos atributos físicos estruturais do solo, para a sortividade do etanol ($S_{0\text{-etanol}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$) as correlações foram significativas com sinal positivo para a porosidade e ambas as macroporosidades (macro1 e macro2), e com sinal negativo para a densidade, microporosidade na escala mais usual (micro1) e criptoporos. As correlações foram significativas e com sinal condizente com o esperado com base na Lei de Poiseuille (negativo para a densidade e positivo para a porosidade total e ambas as macroporosidades -

macro1 e macro2). Para o índice R as correlações foram similares às verificadas para $S_{0\text{-etanol}}$ e $S_{20\text{-etanol}}$, não significativa para os atributos relacionados à matriz do solo e significativas para os atributos físicos relacionados à estrutura do solo, sendo o sinal negativo para a densidade e criptoporos e positivo para a porosidade total e macroporosidade (macro1 e macro2).

Na tabela 11 verifica-se que a condutividade e a sortividade de água ($K_{0\text{-etanol}}$, $k_{i\text{-etanol}}$, $S_{0\text{-água}}$ e $S_{20\text{-água}}$) apresentaram correlações significativas positivas com o Al e a $CTC_{pH=7}$, e que condutividade e sortividade de etanol ($K_{0\text{-etanol}}$, $S_{0\text{-etanol}}$, $S_{20\text{-etanol}}$) apresentaram correlações significativas com a SB e CTC_{efetiva} , sendo essas correlações todas negativas. Revelando que, no presente caso, em que a atividade química do solo é determinada pela matéria orgânica, os citados atributos químicos não interferiram no contato água-solo como pode ser observado nas camadas do horizonte superficial (0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade). Para o índice R as correlações significativas apareceram com o Al e a $CTC_{pH=7}$, ambas negativas.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

As modificações na densidade, porosidade total, distribuição dos poros por tamanho, entre outros, têm consequências para a dinâmica da água, podendo ser avaliadas a partir da condutividade hidráulica na saturação e pela sortividade. Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre diferentes coberturas vegetais (Mata Atlântica secundária, pastagem degradada, acácia, ingá e sabiá) e atributos físicos que descrevem a dinâmica da água no solo e a afinidade água-solo, e identificar se, após 17 anos da revegetação com leguminosas arbóreas, houve a recuperação de tais atributos. Como, nas camadas superficiais, o solo sob vegetação nativa, mesmo mais poroso, apresentou valores de atributos hidrodinâmicos inferiores aos dos solos sob pastagem (menos poroso, fisicamente degradado pela remoção da vegetação e uso agropecuário), pôde-se concluir que, ao menos em parte, isso se deve aos níveis de hidrofobicidade mais elevados sob mata do que sob pastagem. Como o solo sob as leguminosas arbóreas estudadas apresentou valores dos atributos hidrodinâmicos e da afinidade água-solo intermediários, mais próximos daqueles do solo da área preservada do que daqueles do solo sob pastagem, pôde-se concluir também que a revegetação com essas espécies leva a uma expressiva recuperação de sua condição natural e, possivelmente, ao reestabelecimento de sua capacidade de exercer a função ecológica que tinha antes da degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, S.F.; SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; EBLING, A.A. (2015) Impacto do florestamento com *Pinus taeda* L. na porosidade e permeabilidade de um Cambissolo húmico. Revista Árvore, v.39, n.6, p.1073-1082.

ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H.H. (2011) A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. Soil & Tillage Research, v.115/116, p.1-15.

ALVARENGA, C.C.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R. (2011) Continuidade espacial da condutividade hidráulica saturada do solo na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1745-1757.

ALVES, M.C.; CABEDA, M.S.V. (1999) Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.753-761.

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 um latossolo vermelho distrófico em recuperação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.617-625.

ANTONINO, A.C.D.; RUIZ, C.F.; SOUZA, E.S.; NETTO, A.M.; ANGULO-JARAMILLO, R. (2004) Distribuição probabilística do fator de escala de dois solos do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.2/3, p.220-224.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. (2003) Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, v.27, n.5, p.715-721.

ARAÚJO FILHO, J.C.; RIBEIRO, M.R. (1996) Infiltração de água em Cambissolos do Baixo do Irecê (BA). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.263-370.

ARAÚJO, R. S.; RODRIGUES, F.C. M.P.; MACHADO, M.R.; PEREIRA, M.G.; FRAZÃO, F.J. (2005) Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, v.12, n.2, p.16-24.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L. DO P. (2005) Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.425- 435.

BALBINO, L.C.; BRUANDC, A.; COUSINA,I.; BROSSARDD, M.; QUE´TINA, P.; GRIMALDI, M.; (2004) Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. *Geoderma*, v.120, p.297–307.

BARBOSA, T.R.L. (2012) Atributos físicos do solo sob espécies florestais da mata atlântica na região serrana fluminense. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 81p.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. (2002) Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (eds.) *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.v.2, p.487-592.

BASTOS, R.S., MENDONÇA, E. de S., ALVAREZ, V.H., CORRÊA, M.M. (2005) Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.11- 20.

BATISTA, Q.R.; FREITAS, M.S.M.; MARTINS, M.A.; SILVA, C.F. (2008) Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus spp.* e Sabiá. *Revista Caatinga*, v.21, n.1, p.169-178.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. (2008) Manual de irrigação. 8. ed. Atual. E Ampl. Viçosa: UFV, p.625.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. (2004) Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.155- 163.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990) Conservação do solo. Piracicaba, Livro Ceres, p.355.

BOEVER, M. DE; GABRIELS, D.; OUESSAR, M.; CORNELIS, W. (2016) Influence of acacia trees on near-surface soil hydraulic properties in arid Tunisia. *Land Degradation & Development*, v.27, p.1805–1812.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. (2012) Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p.329–336.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P.; MÜLLER, M.M.L. (2005) Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1845- 1853.

BUCZKO, U.; BENS, O.; HÜTTL, R. F. (2005) Variability of soil water repellency in sandy forest soils with different stand structure under Scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Geoderma*, v.126, n.3-4, p.317-336.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M. (1998) Mecânica dos solos. São Carlos: EESC-USP, p.131.

CAMBRONERO, Y.C.; MAIA, C.M.B.F.; DEDECEK, R.A.; HANSEL, F.A. (2011) Influência da concentração de extratos hidrofóbicos na repelência à água em solos arenosos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, n.65, p.01-08.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. (2011) Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal sul-mato-grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.613-622.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. (2004) Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, v.39, n.11, p.1153-1155.

COOTE, D.R., RAMSEY, J.F. (1983) Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v.63, p.1-14.

CORRÊA, J.C. (2002) Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.203-209.

COSTA, G.S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. (2004) Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.919-927.

COSTA, M.G.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. (2014) Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabú, Rio de Janeiro, Brasil. *Scientia Forestalis*, v.42, p.101-112.

CURTIS, R.O.; POST, B.W.(1964) Estimating Bulk Density from Organic-Matter Content in Some Vermont Forest Soils1. *American Society of Agronomy*. v.28, p.285-286.

DEKKER, L.W.; RITSEMA, C.J.; OOSTINDIE, K.; MOORE, D.; WESSELING, J.G. (2009) Methods for determining soil water repellency on field-moist samples. *Water Resources Research*, v.45, p.1-6

DEKKER, L. A. W.; JUNGRIUS, P. D. (1990) Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands, *Catena supplement*, v.18, p.173–183.

DEXTER, A.R.; YOUNGS, I.M. (1992) Soil physics toward 2000. *Soil and Tillage research*.v.24, p.101-106.

DIAS, L.E.; GRIFFITH J.J. (1998) Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, E.L.; MELLO, J.W.V., Eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p.1-7.

DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A.; WALSH, R.P.D. (2000) Soil water repellency: it causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. Swansea, n.51, p.33-65.

DOERR, S.H.; THOMAS, A.D. (2000) The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology*, 231- 232: 134-147.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. (1994) Quantitative indications of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. eds *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA. ed.49, p.25-37.

EMADI, M.; EMADI, M.; BAGHEMEJAD, M.; FATHI, H.; SAFFARI, M. (2008) Effect of land use change on select soil physical and chemical properties in North highlands of Iran. *Journal of applied sciences*, v.8, n.3, p.496-502.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, Embrapa, 353p.

FAO (2015) Status of the world's soil resources – Main Report. Roma, 650p.

FERREIRA, M.M. (2010) Caracterização física do solo. In: Jong van Lier, Q. (ed.) Física do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1-27.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, M.R. (2007) Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na usina hidrelétrica de Camargos, Mg. Revista *Árvore*, v.31, n.1, p.177-185.

FOX, D. M.; DARBOUX, F.; CARREGA, P. (2007) Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*, v.21, n.17, p.2377-2384.

FUENTES, C.; ANTONINO, A.C.D.; NETTO, A.M.; LIRA, C.A.B.O.; CABRA, J.J.S.P. (2005) Desenvolvimento de um modelo fractal para a estimativa da condutividade hidráulica de solos não saturados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.51-60.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; PAULINO, G.M.; FRANCO, A.A. (2008) Atributos Químicos e Microbiológicos de Solos sob Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1521-1530.

GOEBEL, M.O.; BACHMANN, J.; WOCHE, S.K.; FISCHER, W.R.; HORTON, R. (2004) Water potential and aggregate size effects on contact angle and surface energy. *Soil Science Society of America Journal* v.68, p.383–393.

GOEBEL, M.O.; BACHMANN, J.; WOCHE, S.K.; FISCHER, W.R. (2005) Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter, *Geoderma*, v.128; p.80–93.

GOMES, D.S. (2014) Estoque de carbono e nitrogênio em classes de agregados e em solos sob diferentes sistemas florestais no Norte Fluminense. Monografia (Graduação em Agronomia) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 51p.

GOMES, D.S. (2016) Qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas florestais e pastagem, em Conceição de Macabú-RJ. Dissertação

(Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 58p.

GRYZE, S.; JASSOGNE, L.; BOSSUYT, H.; SIX, J.; MERCKX, R.(2006) Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *European Journal of Soil Science*, v.57, n.2, p.235-246.

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A.; KARIMZADEH, H.R. (1997) Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*, v.190, p.301-308.

HALLETT, P.D. (2008) A Brief Overview of the Causes, Impacts and Amelioration of Soil Water Repellency – a Review. *Soil & Water Research*, v.3, Special Issue 1, p.S21–S29.

HALLETT, P.D.; GORDON, D. C.; BENGOUGH, A. G. (2003) Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytologist*, v.157, p.597–603

HALLETT, P.D.; YOUNG, I.M. (1999) Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of soil science*, v.50, p.35-40.

HILLEL, D. (1998) *Environmental soil physics*. New York: Academic Press, p.771.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. (2000) Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.7, p.1493-1500.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (1990) *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília, DF: IBAMA, p.94.

JANSEN, I. ; KRUMMELBEIN, J. ; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. ; HORN, R. (2006) Water repellency of ferralsol as a function of texture and soil depth. In: XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2006,

Aracaju-SE. Novos Desafios do Carbono no Manejo Conservacionista. Aracaju: UFS, p.1-4.

JARAMILLO, J. D. F. (2004) Repelencia al agua en suelos: con énfasis en Andisoles de Antioquia. Medellín – Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 197 p.

JOHNSON, M.S.; LEHMANN, J.; STEENHUIS, T.S.; de OLIVEIRA, L.V.; FERNANDES, E.C.M. (2005) Spatial and temporal variability of soil water repellency of Amazonian pastures. Australian Journal of Soil Research. v.43, p.319-326.

KAMIMURA, K.M.; ALVES, M.C.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S. (2009) Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo do arroz de terras altas em diferentes manejos do solo e água. Bragantia, v.68, n.3, p.723-731.

KING, P.M. (1981). Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. Australian Journal of Soil Research, 19: 275-285.

KLAR, A.E.(1984) A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo, Nobel, p.408.

KLEIN, V.A. (2006) Densidade relativa- um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.5, n.1, p.26-32.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. (2002) Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Ciência Rural, v.32, n.6, p.945-953.

KUMAR, S.; MALLIK, R.S.; DAHIYA, I.S. (1985) Influence of different wastes upon water retention transmission and contact characteristics of sandy soil. Australian Journal of Soil Research, v.23, p.131-136.

LAL, R.; PIRCE, F.J. (1991) The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F.J. eds. Soil management for sustainability. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, p.1-5.

LEEDS-HARRISON, P.B.; YOUNGS, E.G.; UDDIN, B. (1997) A device of spatial variability in water transport at small scales for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal Soil Science*.v.45, p.269–272.

LEEDS-HARRISON, P.B.; YOUNGS, E.G.; UDDIN, B. (1994) A device for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal Soil Science*, v.45, p.269-212.

LETEY, J. (1985) Relationship between soil physical properties and crop productions. *Advances in Soil Science*, v.1, p.277-294.

LIBARDI, P.L. (2005) *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: EDUSP, 335p.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. (2012) Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.71-78.

LIPIEC, J.; WÓJCIGA, A.; HORN, R. (2009) Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil & Tillage Research*, v.103, p.170–177.

LOBATO, E.J.V.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. (1998) Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um Latossolo Roxo distrófico tratado com água/vinhaça. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.181-188.

LOZANO, L.A.; SORACCO, C.G.; BUDA, V.S.; SARLI, G.O.; FILGUEIRA, R.R. (2014) Stabilization of soil hydraulic properties under a long term no-till system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1281-1292.

MAIA, M.B.F.C.; DEDECEK, R.; MALUCELLI, C.S. (2005) Identificação da repelência à água em solos sob plantios florestais. Colombo: Embrapa Florestas. 6p. (Comunicado Técnico, n.147).

MANHÃES, C.M.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. (2009) Biomassa de Fauna do Solo e da Serapilheira em Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.4, p.792-795.

MANHÃES, C.M.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. (2013) Meso - and macrofauna in the soil and litter of leguminous trees in a degraded pasture in Brazil. *Agroforestry Systems*, v.87, p.993-1004.

MARCIANO, C.R. (1999) Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo-USP, 104p.

MARCIANO, C.R.; OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. (2001) Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.1-9.

MARÍN-CASTRO, B.E.; GEISSERT, D.; NEGRETE-YANKELEVICH, S.; CHÁVEZ, A.G.T. (2016) Spatial distribution of hydraulic conductivity in soils of secondary tropical montane cloud forests and shade coffee agroecosystems. *Geoderma*, v.283, p.57–67.

MATAIX-SOLERA, J.; GARCÍA-IRLES, L.; MORUGÁN, A.; DOERR, S.H.; GARCIA-ORENES, F.; ARCENEGUI, V.; ATANASSOVA, I. (2011) Longevity of soil water repellency in a former wastewater disposal tree stand and potential amelioration. *Geoderma*, v.165, p.78–83.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. (2003) Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de primavera do leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.425-433.

MELLO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V.; SOUZA, L.S. (2007) Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. *Revista. Bras. Ci. Solo*, v.31, p.1599-1608.

MICHEL, J.C.; RIVIÈRE, L.M.; BELLON-FONTAINE, M.N. (2007) Measurement of the wettability of organic material in relation to water content by the capillary rise method. *European Journal of Soil Science*, v.52, p.459-467.

MOREIRA, J.A.A.; OLIVEIRA, I.P.; GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F. (2005) Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.3, p.155-161.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. (2004) Produção de serapilheira em área reflorestada. *Revista Árvore*, v.28, n.1, p.49-59.

NAKAYA, N.; YOKOI, H.; MOTOMURA, S. (1977) The method for measuring of water repellency of soil. *Soil Science & Plant Nutrition*, n.23, p.417-426.

NDAW, S.M. (2007) Atividade e funcionalidade das comunidades nitrificadoras, desnitrificadoras e fixadoras de nitrogênio em solos sob diferentes coberturas vegetais na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 134p.

NEUFELDT, H.; AYARZA, M. A.; RESCK, D.V.S.; ZECH, W. (1999) Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols. *Geoderma*, v.93, p.85–99.

NUNES, D.A.D.; GAMA-RODRIGUES; E.F.; BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MONROE, P.H.M. (2016) Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Forest Research*, v.27, p.91-99.

NYAMADZAWO, G.; R. CHIKOWO, R.; NYAMUGAFATA, P.; GILLER, K.E. (2007) Improved legume tree fallows and tillage effects on structural stability and infiltration rates of a kaolinitic sandy soil from central Zimbabwe. *Soil & Tillage Research*, v.96, p.182–194.

OLDEMAN, L.R.; LYNDEN, G.W.J. (1998) Revisiting the GLASOD methodology. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (eds.) *Methods of assessment of soil degradation*. New York, CRC Press, p.423-440.

PENG, X.; ZHANG, B.; ZHAO, Q.; HORN, R.; HALLETT, P.D. (2003) Influence of types of restorative vegetation on the wetting properties of aggregates in a severely degraded clayey Ultisol in subtropical China. *Geoderma*, v.115, p.313-324.

PÉREZ, D. V.; SIMÃO, S. M.; SALATINO, A. (1998) Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.2, p.173-179.

PHILIP, J.R. (1957) The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, v.84, p.257-264.

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*, v.27, p.19-27.

PRUSKY, F.F.; GRIEBELER, N.P.; SILVA, D.D. (2001) Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.403-410.

RIBEIRO, L.P.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. (2014) Influence of mineral fertilization on edaphic fauna in *Acacia auriculiformis* (A. Cunn) plantations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.39-49.

RITA, J.C.O.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; ZAIA, F.C.; NUNES, D.A.D. (2013) Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the North of Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1207-1215.

ROSEBERG, R.J. & McCOY, E.L. (1990) Measurement of soil macropore air permeability. *Soil Science Society of America Journal*, v.54, p.969- 974.

SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, M.S.; CURI, N. (1999) Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.11, p.2091-2095

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P.; CAVALCANTE, V.R. (2001) Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.1063- 1071.

SIEBOLD, A.; WALLISER, A.; NARDIN, M.; OPPLIGER, M.; SCHULTZ, J. (1997) Capillary Rise for Thermodynamic Characterization of Solid Particle Surface. *Journal of Colloid and Interface Science* v.186, p.60–70.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. (1994) Characterization of the least limiting water range. *Soil and Water Conservation Society*, v.58, p.1775-1781.

SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. S. (2001) Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de Eucalipto (*Eucalyptus saligna*) e em áreas de mineração de bauxita. *Revista Cerne*, v.7, n.1, p.101-113.

STENBERG, B. (1999) Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. *Soil Plant Science*, v.49, p.1-24.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. (2002) Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.207-212.

STÜRMER, S.L.K.; ROSSATO, O.B.; COPETTI, A.C.C.; SANTOS, D.R.; CALEGARI, A.; BRUM, B. (2011) Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo. *Ciência Florestal*, v.21, n.2, p.241-250.

SUZUKI, L.E.A.S.; LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; PILLON, C.N. (2012) Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamento com eucalipto. *Ciência Florestal*, v.22, n.4, p.833-843.

TILLMAN, R.W.; SCOTTE, A.D.R.; WALLIS, M.G.; CLOTHIER, B.E. (1989) Water-repellency and its Measurement by using Intrinsic Sorptivity. *Australian Journal Soil Research*, v.27, p.637-44

TOLEDO, L. O.; PEREIRA, M. G. (2004) Dinâmica da deposição de serapilheira em florestas secundárias do município de Pinheiral, RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, v.11, n.1, p.39-46.

TORRES, J.L.R.; FABIAN, A.J.; PEREIRA, M.G. (2011) Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.3, p.437-445.

VALICHESKI, R.R.; MARCIANO, C.R. (2008) Atributos químicos e granulometria do substrato remanescente nas áreas de extração de argila em Campos dos Goytacazes – RJ. *Revista Ceres*, v.55, ed.6, p.610-618.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. (2010) Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.309- 316.

VOGELMANN, E.S. (2011) Ocorrência de hidrofobicidade em solos do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria, 122p.

VOGELMANN, E.S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J.M. (2015) Origem dos compostos hidrofóbicos e seus efeitos em florestas de *Pinus* e *Eucalyptus*. *Ciência Florestal*, v.25, n.4, p.1067-1079.

VOGELMANN, E.S.; REICHERT, J.M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G.O. (2013) Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. *Ciência Rural*, v.43, n.1, p.1582-1589.

VOGELMANN, E.S.; REICHERT, J.M.; PREVEDELLO, J.; BARROS, C.A.P.; QUADROS, F.L.F.; MATAIX-SOLERA, J. (2012) Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. *Soil Research*, v.50, n.6, p.465–472.

VOGELMANN, E.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; MENTGES, M.I.; VIEIRA, D.A.; BARROS, C.A.P.; FASINMIRIN, J.F. (2010) Water repellency in

soils of humid subtropical climate of Rio Grande do Sul, Brazil, *Soil & Tillage Research*, v.110, n.1, p.126-133.

WAHL, N.A.; BENS, O.; BUCZKO, U.; HANGEN, E.; H€UTTTL, R.F. (2004) Effects of conventional and conservation tillage on soil hydraulic properties of a silty-loamy soil. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.29, p.821-829.

ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. (2008) Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1191-1197.