

# CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DE SOLOS TROPICAIS BRASILEIROS

*Aderson Sartori<sup>1</sup> & Abel Maia Genovez<sup>2</sup>*

**Resumo** – O Método do Número da Curva de Escoamento ou Método do CN é usado mundialmente para estimar a chuva excedente. As maiores dificuldades de aplicação do método fora do país de origem estão relacionadas com a definição dos grupos hidrológicos de solo e a falta de valores locais de referência para o parâmetro CN. As características gerais dos grupos hidrológicos de solos, inicialmente propostas para os EUA (SCS, 1972), são ainda usadas no Brasil. Por serem baseadas principalmente na textura dos solos elas não fornecem critérios objetivos para sua aplicação, pois a textura não é suficiente para classificar um solo hidrológicamente. A classificação hidrológica de solos revisada do NRCS (2009) possui critérios claros e objetivos, mas para serem aplicados necessitam de medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo. Estes dados são escassos no Brasil. Assim, neste trabalho é apresentada uma proposta de classificação hidrológica de solos alternativa para minimizar a dificuldade de classificar um solo hidrológicamente sem ter dados de condutividade hidráulica saturada.

**Abstract** – The Runoff Curve Number Method (CN method) is used worldwide to estimate the rainfall excess. The main difficulties of applying the method outside the USA are due to hydrologic soil group definitions and lack of local reference CN. The general characteristics of hydrologic soil groups initially proposed to USA (SCS, 1972) are still used in Brazil. These general features do not provide objective criteria for its application within and outside the USA because the texture is not enough to assign soils to hydrologic soil groups. The revised NRCS soil hydrologic classification (NRCS, 2009) has clear and objective criteria. However, it is need to measure the saturated hydraulic conductivity through soil profile for its use. These data are scarce in Brazil. Thus, it is proposed an alternative hydrologic soil classification to minimize the difficulty of classifying hydrologically a soil without having saturated hydraulic conductivity data.

**Palavras-Chave** – solo, escoamento superficial, hidrologia.

---

<sup>1</sup> Eng. Civil da RA-Sabesp, Departamento de Empreendimentos e Projetos, Avenida Padre Antonio Brunetti, 1234, Itapetininga, SP, CEP 18208-080, (15) 3275-9185, adersonxt4@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Professor Titular da FEC-UNICAMP, Departamento de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais, CP 6021, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas, SP, CEP 13083-852, (19) 3521-2356, agenovez@fec.unicamp.br

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da vazão, do volume e do hidrograma de escoamento superficial direto gerado pela chuva é de fundamental importância no planejamento, projeto e operação de obras hidráulicas e sistemas agrícolas. Nos projetos que envolvem a quantificação do escoamento superficial direto em bacias hidrográficas sem monitoramento é necessário um modelo para estimar a parcela da chuva total que irá se transformar no escoamento superficial direto, isto é, para estimar a chuva excedente. Dentre os modelos disponíveis, talvez o mais usado seja o conhecido “Runoff Curve Number Method” ou Método do Número da Curva de Escoamento, simplesmente chamado de Método do CN. Ele foi desenvolvido pelo “Natural Resources Conservation Service” (NRCS) – antigo “Soil Conservation Service” (SCS) – do “United States Department of Agriculture” (USDA) para estimar a chuva excedente a partir de chuvas totais. Então, o Método do CN é um modelo para estimativa da parcela da chuva total que não se perdeu por interceptação, armazenamento em depressões e infiltração no solo.

Para estimar a chuva excedente o Método do CN considera os principais fatores que afetam a geração do escoamento, incluindo as características hidrológicas dos solos na forma de grupos hidrológicos de solo, a cobertura da terra, as práticas conservacionistas e as condições de escoamento antecedente da bacia. Todos estes fatores estão combinados em um índice chamado Número da Curva de Escoamento (CN), parâmetro característico da técnica. A aplicação do método para bacias sem monitoramento de chuva e vazão consiste, por padrão, na seleção do parâmetro CN nas tabelas publicadas no manual de origem norte-americana, onde o CN é escolhido em função do grupo hidrológico de solo, do uso e manejo da terra. Uma importante característica de seu emprego é a classificação dos solos em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com o potencial de escoamento superficial, sendo A o grupo de menor potencial e o D de maior potencial. O uso da tabela original do parâmetro CN é habitual, uma vez que não existam calibrações do CN para as condições locais. Nesta situação engenheiros têm a difícil tarefa de estimar o parâmetro CN baseando-se em informações contidas em mapas de solo e de uso da terra.

As definições dos grupos hidrológicos de solos inicialmente propostos para os EUA (SCS, 1972) são ainda usadas no Brasil. No entanto sua aplicação é pouco consistente por não ter critérios bem definidos, ou seja, a profundidade do solo é mencionada apenas na definição dos grupos A e B, porém um limite de profundidade não é apresentado. No grupo C estão basicamente os solos de

textura moderadamente fina até textura fina, isto é, solos compostos por silte e argila. No grupo D estão incluídos essencialmente os solos argilosos.

Brakensiek e Rawls (1983) apresentaram uma simplificação para a classificação hidrológica de solos que se baseia nas classes texturais do USDA. Contudo, somente a classe textural não é suficiente para classificar um solo hidrológicamente. Segundo Hawkins (2005) existiram, infelizmente, poucos desenvolvimentos subseqüentes sobre o assunto e existem poucos critérios objetivos para fazer as identificações dos grupos hidrológicos fora dos EUA. Para ele a classificação vai além da classe textural e da capacidade de infiltração.

A falta de critérios objetivos também levou a inconsistências na classificação dos solos por todo os EUA, ou seja, a interpretação variou ao longo do tempo, de cientista para cientista de solo, de usuário para usuário e de local para local. Como resultado, os critérios dos grupos hidrológicos não foram aplicados uniformemente (NIELSEN e HJELMFELT, 1998). Isso levou a revisão da classificação hidrológica de solo original do Método do CN. Na nova versão da classificação hidrológica (NRCS, 2009) os critérios estão baseados essencialmente na profundidade da camada restritiva, na profundidade do nível d'água subterrâneo e na condutividade hidráulica saturada do horizonte menos permeável do perfil de solo analisado.

No entanto, para aplicar a atual classificação do NRCS é necessário medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo. De fato, as propriedades mais importantes dos solos que influenciam a resposta hidrológica de uma bacia são a condutividade hidráulica e a retenção de umidade do solo. Embora o progresso que se tenha feito em medições de características hidráulicas de solos, a maioria destas técnicas exige abertura de trincheiras e deslocamento de aparelhos, seja para ensaios locais ou para coleta e acondicionamento de amostras, transporte de amostras para ensaios laboratoriais e etc. Essas atividades ainda consomem muito tempo e, portanto, são custosas. Isso leva a escassez de dados observados e disponíveis sobre condutividade hidráulica de solo saturado ao longo do perfil o que dificulta ou inviabiliza o uso direto da atual classificação hidrológica de solo do NRCS no Brasil.

Portanto, procurou-se desenvolver novos critérios de classificação hidrológica de solos que fossem pouco suscetíveis a interpretações subjetivas e que não necessitassem de medições de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil. Os critérios foram baseados em propriedades do solo que estão comumente presentes nos boletins de levantamentos e mapas de solo do Brasil.

## 2. HISTÓRICO

A Classificação Hidrológica de Solos foi inicialmente proposta por Musgrave (1955) para estimativa da infiltração. Neste pioneiro trabalho foram analisados vários dados de infiltração, sendo a maioria resultado de testes de infiltrômetros que não se resumiam a um único tipo de aparelho, mas realizados para complexos hidrológicos bem definidos, permitindo assim fazer comparações relativas. A base de comparação foi à capacidade mínima de infiltração, ou seja, a taxa mínima de infiltração razoavelmente constante, a qual representa a condição de um dado complexo hidrológico completamente molhado por chuvas antecedentes. As características gerais dos solos, observadas por Musgrave (1955), foram por ele descritas para cada Grupo Hidrológico de Solo (GHS) como:

- Grupo A: inclui as areias profundas e siltes bem agregados e profundos de origem eólica, ambos muito permeáveis e contendo pouco teor de argila e de colóides. Os siltes têm suficiente teor de matéria orgânica para proporcionar boa agregação.
- Grupo B: inclui solos arenosos e franco siltosos de moderada profundidade e com infiltração acima da média. A capacidade mínima de infiltração para este grupo varia de 3,81 a 7,62 mm/h.
- Grupo C: inclui solos rasos de todas as classes texturais. Suas capacidades mínimas de infiltração estão abaixo da média (1,27 a 3,81 mm/h).
- Grupo D: inclui solos com elevadas taxas de expansão na superfície ou na subsuperfície devido ao alto teor de argila ou colóide. Suas capacidades mínimas de infiltração aproximam-se de 1,27 mm/h.

A classificação hidrológica de solos, assim definida, foi incluída no Método do CN com leve alteração no texto de suas características gerais, provavelmente para incluir outras características de solos que não estavam presentes no conjunto de dados analisados por Musgrave (1955).

Segundo Hawkins (1980), desde que a classificação hidrológica de solos foi desenvolvida, poucos estudos foram feitos no sentido de avaliar criticamente as definições dos grupos hidrológicos como usados no Método do CN ou validando as capacidades mínimas de infiltração propostas por Musgrave (1955). Uma variedade de propostas de conexão entre os grupos hidrológicos de solo e a capacidade mínima de infiltração foi sugerida. No entanto, a maioria dos

valores propostos está acima dos valores apresentados por Musgrave (1955), os quais foram medidos no horizonte B sob prolongado umedecimento, na condição de solo nu e para situações agrícolas. As outras propostas não apresentam informações sobre as medições de campo, a fonte dos dados, ou as condições que levaram aos valores apresentados (HAWKINS, 1980). Como ensaios realizados com diferentes equipamentos para as mesmas condições ou ensaios conduzidos sob diferentes condições e mesmos equipamentos apresentam resultados divergentes, não foi possível comparar ou tirar conclusões sobre os valores propostos.

Brakensiek e Rawls (1983) apresentaram uma simplificação da classificação hidrológica de solo, estabelecendo uma relação entre os grupos hidrológicos de solo (Musgrave, 1955) e as classes texturais do solo USDA (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993). Eles assumiram que a condutividade hidráulica saturada correspondia à capacidade mínima de infiltração depois de prolongado suprimento de água, isto é, depois de prolongado umedecimento. Os valores de condutividade hidráulica saturada, obtidos de estudos anteriores e definidos para cada classe textural, foram relacionados com as capacidades mínimas de infiltração e usados para delinear os grupos hidrológicos. Essa proposta de conexão é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Grupos hidrológicos de solo e condutividade hidráulica saturada média para as classes texturais do USDA. Fonte: Adaptada de Brakensiek e Rawls (1983) e Rawls *et al.* (1982).

<b>Grupo Hidrológico de Solo</b>	<b>Classe Textural</b>	<b>Ks (mm/h)</b>
A	Areia	210,0
	Areia franca	61,1
	Franco arenoso	25,9
B	Franco	13,2
	Franco siltoso	6,8
C	Franco argilo arenoso	4,3
	Franco argiloso	2,3
	Franco argilo siltoso	1,5
D	Argila arenosa	1,2
	Argila siltosa	0,9
	Argila	0,6

Na ausência de outros critérios, o baseado na textura acaba sendo adotado para classificar um solo hidrológicamente. Isso causa problemas para classificar solos com textura variável ao longo do perfil porque eles não foram considerados nessa proposta de conexão. Então, a maioria dos usuários se baseia apenas na textura superficial do solo, não considerando os diferentes horizontes ao longo do perfil no processo de classificação. Além disso, só a textura não é suficiente para indicar as condições de infiltrabilidade de alguns solos, tal como os argilosos bastante intemperizados.

Wood e Blackburn (1984) avaliaram a efetividade dos grupos hidrológicos de solos no cálculo das estimativas do escoamento superficial para as condições das savanas áridas e semiáridas dos EUA. Os escoamentos estimados com a metodologia padrão do Método do CN (SCS, 1972) foram comparados com os medidos. Em geral, o escoamento estimado foi muito maior do que o observado para todos os três grupos hidrológicos analisados (B, C e D). Segundo Wood e Blackburn (1984) o estrato impermeável exerce pouco efeito nas taxas de infiltração e no escoamento porque a maioria das chuvas sobre estas áreas não fornecem água suficiente para percolar até onde às camadas impermeáveis são encontradas. Além disso, alguns solos nestas áreas possuem um encrostamento superficial, o qual é mais influente do que a textura e a drenagem do solo. Este é o caso, apresentado pelos autores, de um solo com classe textural Franco arenosa em todo o seu perfil, que foi classificado como B, mas nas simulações gerou 60% de escoamento a mais do que os solos classificados como D.

Langan e Lammers (1991), preocupados com o problema de inconsistência da classificação hidrológica de solos (SCS, 1972), fizeram uma proposta de classificação alternativa. Eles se basearam em propriedades do solo disponíveis em levantamentos pedológicos, as quais direta ou indiretamente interferem na infiltração e, portanto, no escoamento superficial. As características usadas na classificação proposta foram, entre outras, camada restritiva e sua profundidade, textura do solo, profundidade do lençol d'água subterrâneo e classes de permeabilidade. A proposta apresentada é aparentemente consistente e pouco sujeita a interpretações subjetivas, muito embora esteja baseada principalmente em critérios qualitativos. No entanto, a proposta apresentada ou não foi difundida ou não despertou interesse dos usuários do método por exigir conhecimentos sobre pedologia, não sendo, portanto, encontrado aplicações em projetos de engenharia.

O limitado número de medições para a capacidade mínima de infiltração nos EUA e a falta de critérios objetivos para a classificação hidrológica de solos criou uma preocupação sobre o potencial erro no procedimento de classificação. A determinação dos grupos hidrológicos era baseada em interpretações subjetivas dos critérios ou características gerais de cada grupo hidrológico pelos cientistas de solo, não sendo consistente em diferentes regiões dos EUA (NIELSEN e HJELMFELT, 1998). Por esse motivo o NRCS revisou a classificação hidrológica de solos, propondo nova definição para as características gerais de cada Grupo Hidrológico de Solo (GHS) e novos critérios de classificação, os quais estão baseados na condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) da camada menos permeável, na profundidade da camada impermeável e na profundidade do lençol

d'água subterrâneo. Os critérios de classificação estão apresentados na Tabela 2 e as características gerais de cada grupo hidrológico são descritas na seqüência.

Grupo A — Solos neste grupo têm baixo potencial de escoamento superficial quando completamente molhados. Água é transmitida livremente através do solo, isto é, permeabilidade elevada. Estes solos tipicamente possuem menos do que 10 % de argila e mais do que 90 % de areia ou cascalho. Alguns solos pertencentes às classes texturais areia franca, franco arenoso, franco, ou franco siltoso são possíveis de serem incluídos neste grupo se eles forem bem agregados, de baixa densidade, ou se contiverem mais do que 35 % de fragmentos rochosos (NRCS, 2009).

Grupo B — Solos neste grupo têm potencial moderadamente baixo de escoamento superficial quando completamente molhados. A transmissão de água através do solo não é impedida, isto é, permeabilidade moderadamente alta. Solos do grupo B têm tipicamente 10 a 20 % de argila e 50 a 90 % de areia. São de textura areia franca ou franco arenoso. Alguns solos pertencentes às classes texturais franco, franco siltoso, silte, ou franco argilo arenoso podem ser incluídos neste grupo se eles forem bem agregados, de baixa densidade, ou se contiverem mais do que 35 % de fragmentos rochosos (NRCS, 2009).

Grupo C — Solos neste grupo têm potencial moderadamente elevado de escoamento superficial quando completamente molhados. A transmissão de água através do solo é um pouco restrita, isto é, permeabilidade moderadamente baixa. Solos do grupo C têm tipicamente 20 a 40 % de argila e menos de 50 % de areia. São de textura franco, franco siltoso, franco argilo arenoso, franco argiloso, e franco argilo siltoso. Alguns solos pertencentes às classes texturais argila, argila siltosa, ou argila arenosa podem ser incluídos neste grupo se eles forem bem agregados, de baixa densidade, ou se contiverem mais do que 35 % de fragmentos rochosos (NRCS, 2009).

Grupo D — Solos neste grupo têm potencial elevado de escoamento superficial quando completamente molhados. A transmissão de água através do solo é restrita ou muito restrita, isto é, permeabilidade baixa ou muito baixa. Solos do grupo D têm tipicamente mais de 40 % de argila e menos de 50 % de areia e possuem textura argilosa. Em algumas áreas, eles podem também ter elevado potencial de contração-expansão. Todos os solos com profundidade a uma camada restritiva menor do que 50 cm e todos os solos com lençol subterrâneo dentro dos primeiros 60 cm de profundidade estão neste grupo (NRCS, 2009).

Grupo hidrológico duplo — Existem solos classificados no grupo D somente devido à presença de lençol d'água subterrâneo dentro de 60 cm de profundidade. Grupos hidrológicos duplos (A/D, B/D, e C/D) são atribuídos aos solos encharcados que possam ser adequadamente drenados. A primeira letra se aplica às condições após drenagem, de acordo com os critérios apresentados na Tabela 2, e a segunda letra se aplica à condição natural não drenada (NRCS, 2009).

Tabela 2 – Critérios para classificação hidrológica de solos (NRCS, 2009).

Profundidade da camada impermeável <sup>1/</sup>	Profundidade do lençol subterrâneo <sup>2/</sup>	Ks da camada menos permeável	Profundidade limite da Ks	GHS	
(cm)	(cm)	( $\mu\text{m/s}$ )	(cm)		
< 50	-----	-----	-----	D	
				> 40,0	A/D
				> 10,0 a $\leq$ 40,0	B/D
				> 1,0 a $\leq$ 10,0	C/D
50 a 100	-----	-----	-----	D	
				> 40,0	A
				> 10,0 a $\leq$ 40,0	B
				> 1,0 a $\leq$ 10,0	C
> 100	-----	-----	-----	D	
				> 10,0	A/D
				> 4,0 a $\leq$ 10,0	B/D
				> 0,4 a $\leq$ 4,0	C/D
> 100	60 a 100	-----	-----	D	
				> 40,0	A
				> 10,0 a $\leq$ 40,0	B
				> 1,0 a $\leq$ 10,0	C
> 100	> 100	-----	-----	D	
				> 10,0	A
				> 4,0 a $\leq$ 10,0	B
				> 0,4 a $\leq$ 4,0	C
				D	

<sup>1/</sup> Uma camada impermeável tem Ks menor que 0,01  $\mu\text{m/s}$  (0,036 mm/h) ou uma restrição composta de fragipã; duripã; ortstein; horizonte petrocálcico; horizonte petrogípsico; horizonte cimentado; material denso; horizonte plácico; contato paralítico; contato lítico; ou subsolo congelado.

<sup>2/</sup> Lençol subterrâneo elevado em algum mês durante o ano.

As principais melhorias da atualização da classificação hidrológica de solo com relação à versão anterior (SCS, 1972) e sua simplificação (BRAKENSIEK e RAWLS, 1983) estão nas descrições gerais dos grupos hidrológicos e nas definições dos critérios propostos, as quais são:

- definição da amplitude da condutividade hidráulica saturada da camada menos permeável em função da profundidade da camada impermeável para cada grupo hidrológico;
- definição das porcentagens de argila e areia para cada grupo hidrológico, não mencionando apenas “solos arenosos profundos” ou “solos arenosos menos profundos” como publicado nas versões anteriores do “National Engineering Handbook”;
- alerta sobre a possibilidade de indicar um solo de textura mais fina para um grupo hidrológico com menor potencial de escoamento desde que este solo possua características



que lhe proporcionem uma melhor condição de drenagem interna quando comparado com outro solo de mesma textura ou de textura mais grossa.

Com relação à primeira melhoria citada, cabe dizer que a metodologia para se chegar aos valores propostos não foi apresentada. Presume-se que podem ter sido baseados em análises de dados experimentais cujas referências principais possivelmente são Rawls e Brakensiek (1983) e Brakensiek e Rawls (1983). Em geral os critérios propostos são consistentes e pouco suscetíveis a interpretações subjetivas.

A indicação de porcentagens de areia e argila, teores que em geral foram encontrados nos solos pertencentes aos grupos hidrológicos, também diminui a questão da subjetividade da classificação na ausência de informações sobre condutividade hidráulica saturada de solos. Contudo, a terceira melhoria alerta que somente a textura não é suficiente para classificar um solo, e que outros atributos também deveriam ser analisados antes da indicação final. Portanto, pode-se dizer que a classificação hidrológica de solos revisada do NRCS (2009) é clara, pouco subjetiva e consistente. Contudo, apresenta como desvantagem a necessidade de se conhecer a condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil de solo para classificá-lo hidrológicamente. Além disso, a atual classificação hidrológica do NRCS não apresenta uma padronização para a medição da condutividade hidráulica em diferentes profundidades para os propósitos de classificação.

No Brasil, infelizmente, poucos trabalhos foram desenvolvidos sobre o tema classificação hidrológica de solos. O trabalho de Setzer e Porto (1979) foi pioneiro nesta tarefa. O objetivo central do trabalho foi propor uma adaptação da classificação hidrológica do SCS para o Estado de São Paulo. Com as informações disponíveis na época (estudos geológicos e pedológicos), os autores definiram cinco grupos hidrológicos de solo para o Estado de São Paulo. A definição de mais um grupo hidrológico de solo não permite o uso da tabela original de valores do CN. Portanto, uma nova tabela de valores para o CN foi estabelecida. No entanto, a tabela proposta para estimativa dos valores do CN não tem sua origem documentada. Além disso, cada um dos 41 tipos de solos usados no trabalho possui uma porcentagem de cada grupo hidrológico, ou seja, não é possível identificar a posição e o limite de cada grupo hidrológico no interior de uma bacia hidrográfica.

Lombardi Neto *et al.* (1989) apresentaram outra adaptação para classificação hidrológica de solos com objetivo de auxiliar na estimativa do escoamento superficial para dimensionar o espaçamento entre terraços. Para caracterizar os grupos hidrológicos foram usadas a profundidade, a

textura, a razão textural entre o horizonte superficial e subsuperficial, e a permeabilidade dos solos influenciada pela sua porosidade e pela atividade da argila. Essa proposta foi avaliada e revisada por Sartori *et al.* (2005a, 2005b) resultando em sua adaptação para a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 1999. Embora estes trabalhos sejam adaptações para os solos tropicais brasileiros que minimizaram subjetividades e inconsistências do uso da classificação original do Método do CN (SCS, 1972), os critérios baseados em algumas características pedológicas ainda estão sujeitos a diferentes interpretações pessoais, isto é, subjetivas. Por exemplo, essas classificações não consideram a influência da profundidade da mudança textural abrupta ou de outro horizonte mais restritivo. Isso influencia diretamente a decisão do usuário ao classificar o solo, podendo ele desconsiderar esse fato ou não. Portanto, ter uma classificação hidrológica de solos para aplicação prática que seja clara o bastante para minimizar as interpretações subjetivas de seus critérios de classificação se faz necessário.

### **3. NOVOS CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DE SOLO**

No desenvolvimento de critérios práticos para classificação hidrológica de solos foram escolhidos atributos de solos que podem atuar como substitutos de propriedades hidráulicas para a inferência e classificação de seu comportamento hidrológico. Na escolha dos atributos levou-se em conta: (a) disponibilidade de informações em boletins de levantamento pedológico; (b) possibilidade de identificar a variabilidade do atributo nas legendas dos mapas, ou seja, na classificação dos solos; (c) ter relações com o comportamento físico-hídrico dos solos. Assim, foram selecionados seis atributos de solos:

- **Camada Restritiva.** Uma camada restritiva é uma camada que reduz significativamente ou impede o movimento descendente da água no interior do solo, isto é, reduz a condutividade hidráulica saturada. Então, uma camada restritiva como definida é uma limitação quanto à permeabilidade. O impacto dessa camada sobre o escoamento superficial depende da profundidade de sua ocorrência e da limitação proporcionada à percolação de água no solo, isto é, moderada ou forte. Segundo Oliveira (2005) os horizontes litoplântico, petroplântico, petrocálcico, plântico, plântico com caráter sódico e plácico, assim como o contato lítico, o ortstein, o duripã e o fragipã são de limitação forte. O horizonte coeso, a mudança textural abrupta e o horizonte plântico são de limitação moderada. O NRCS (2009) classifica camadas restritivas de limitação forte como camadas quase impermeáveis, que podem ser consideradas como impermeáveis para os propósitos da classificação hidrológica de solos.

- Lençol d'água subterrâneo e lençol d'água suspenso. Se seus níveis se encontrarem dentro de 100 cm de profundidade durante algum período do ano (estação úmida), haverá o surgimento de condições de pouca drenagem devido à saturação do solo por capilaridade, o que favorecerá o escoamento superficial. Além disso, as regiões de solos com lençol subterrâneo dentro de 100 cm estão sujeitas a inundações periódicas por se encontrarem, com maior frequência, nas várzeas de cursos d'água.
  
- Atividade da argila do horizonte subsuperficial. Uma medida da atividade da argila é a capacidade de troca de cátions da fração argila (T). Solos com elevada atividade da fração argila ( $T > 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$  de argila) são solos com significativo potencial de contração-expansão. Estes solos são classificados como Ta (argila de atividade alta) ou como vérticos (ou vertissólicos). Os representantes extremos da classe são os Vertissolos que possuem elevado potencial de contração-expansão e condutividade hidráulica saturada muito baixa. A capacidade de troca de cátions da caulinita (mineral de argila do grupo 1:1) em geral varia de 1 a 10  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , da montemorilonita (mineral de argila do grupo 2:1) de 80 a 120  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , da vermiculita (mineral de argila do grupo 2:1) de 120 a 150  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , da matéria orgânica de 100 a 300  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  (OLIVEIRA, 2005) e dos óxidos hidratados em torno de 4  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  (FREIRE, 2006).
  
- Propriedades Ácricas. Característica de solos altamente intemperizados com considerável teor de óxidos e hidróxidos de ferro (hematita, goetita), óxidos de alumínio (gibbsita) e caulinita. Devido à composição mineralógica são solos de atividade coloidal muito baixa e apresentam em geral elevada porosidade e boa condutividade hidráulica, mesmo aqueles muito argilosos [ $> 60 \%$  de argila] (OLIVEIRA, 2005).
  
- Óxidos de Ferro. Óxidos de ferro são compostos inorgânicos que com sua ação cimentante produzem pequenos agregados bastante estáveis os quais são às vezes chamados de “pseudo-areias” em certos solos de regiões úmidas e quentes (BRADY e WEIL, 2000). Solos ricos em óxidos de ferro possuem em geral boa porosidade e boa condutividade hidráulica saturada.
  
- Grupamento textural. Um grupamento textural fornece uma idéia da distribuição do tamanho de partículas que constituem a fração terra fina do solo. Em geral, um grupamento textural

composto predominantemente pela fração areia possui maior condutividade hidráulica saturada do que um grupamento textural composta predominantemente pela fração argila. No entanto, exceções a essa generalização ocorrem devido à estrutura do solo e à atividade da fração argila.

Os atributos selecionados e apresentados para desenvolver os critérios de classificação hidrológica de solos foram classificados em principais e secundários. Os atributos principais são aqueles que podem por si só em alguns casos definir o grupo hidrológico de um solo em função de sua profundidade e limitação. Estes incluem as camadas restritivas de limitação forte e o lençol freático. Os atributos secundários são aqueles que podem por si só definir um grupo hidrológico de solo somente na ausência dos atributos principais dentro de uma profundidade limite, tomada como 100 cm. Eles são usados como informações complementares aos atributos primários para gerar critérios de classificação. Os atributos secundários incluem, além das camadas restritivas de limitação moderada, a atividade da fração argila, as propriedades ácricas, o teor de óxidos de ferro e o grupamento textural.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) informa no quarto nível categórico (subgrupo) a profundidade onde se inicia o horizonte subsuperficial B de solos que apresentam horizontes A e E de textura arenosa e mudança textural abrupta (camada restritiva de limitação moderada), ou seja, nos solos dos subgrupos abrupticos o horizonte B se inicia a menos de 50 cm, nos arênicos entre 50 e 100 cm e nos espessoarênicos a mais de 100 cm. Também apresenta definições precisas de solos rasos (líticos) e pouco profundos (lépticos). Os solos rasos apresentam contato lítico a menos de 50 cm de profundidade e nos solos pouco profundos esse contato se encontra entre 50 e 100 cm de profundidade. Com relação à presença do lençol subterrâneo, o SiBCS usa o termo hidromórfico no segundo e no terceiro nível categórico, o termo hidro-hiperespesso no terceiro nível categórico e o termo gleissólico no quarto nível categórico para indicar a presença de água proveniente do lençol subterrâneo. A ordem dos Gleissolos, por definição, compreende solos que se encontram permanente ou periodicamente saturados por água.

O termo hidromórfico é usado no segundo nível categórico com a ordem dos Vertissolos para indicar a presença do lençol subterrâneo dentro de 50 cm de profundidade ou entre 50 e 100 cm. No terceiro nível categórico o termo hidromórfico é aplicado ao grande grupo dos Neossolos Quartzarênicos para indicar a presença do lençol subterrâneo permanente ou durante algum tempo na maioria dos anos dentro de 50 cm de profundidade ou dentro de 150 cm de profundidade durante

a estação seca. Para a ordem dos Espodosolos o termo hidromórfico indica a presença do lençol subterrâneo dentro de 100 cm de profundidade. O termo gleissólico é usado no quarto nível categórico para indicar horizonte glei dentro de 150 cm de profundidade (em posição não diagnóstica para Gleissolos) ou mais raso quando coincidir com horizonte diagnóstico plânico. Isso indica a presença do lençol subterrâneo dentro de 150 cm de profundidade. O termo hidrohipersperso é aplicado ao grande grupo dos Espodosolos Humilúvicos para indicar a presença do lençol d'água subterrâneo dentro de 100 cm de profundidade.

Considerando as indicações de profundidades do SiBCS para as camadas restritivas e para o lençol subterrâneo, e sabendo que os atributos primários têm prioridade na decisão sobre os atributos secundários, as possibilidades de classificação hidrológica de um solo definidas com base apenas nos atributos primários e nas camadas restritivas moderadas são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Base inicial para desenvolver critérios de classificação hidrológica de solos.**

Profundidade do lençol d'água	Profundidade da camada restritiva		Grupo Hidrológico de Solo
	forte	moderada	
> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm	A, B, C ou D
		50 e 100 cm	B ou C
	50 e 100 cm	≤ 50 cm	C ou D
		---	C ou D
≤ 100 cm	≤ 50 cm	---	D
	---	---	D
	---	---	D

A partir da base inicial apresentada na Tabela 3 as definições dos grupos hidrológicos de solo foram estabelecidas, as quais são descritas a seguir. No entanto, elas são bastante gerais, portanto para aplicação prática foram desenvolvidos critérios de classificação seguindo a base inicial definida na Tabela 3, as definições gerais propostas para os grupos hidrológicos e as particularidades de cada ordem de solo de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006). A combinação dessas informações resultou dezenove critérios de classificação hidrológica de solos, os quais são apresentados na Tabela 4.

**Grupo Hidrológico A** – São solos que possuem permeabilidade rápida e não apresentam dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso e camada restritiva forte ou moderada. Neste grupo podem ser incluídos solos arenosos, solos bastante intemperizados de textura média, argilosa ou muito argilosa, com teor de óxido de ferro elevado e/ou propriedades ácricas.

Tabela 4 – Critérios propostos para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiros.

Lençol d'água	Camada restritiva		Demais características diagnósticas	GHS Critério			
	forte	moderada					
> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm	- textura arenosa em todo o perfil	A	1		
			- textura arenosa ou média (< 20% de argila) até a camada restritiva	A	2		
			- textura média, argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol <sub>e</sub> /kg de argila, elevado teor de óxidos de ferro e/ou propriedades ácricas	A	3		
	50 e 100 cm	50 e 100 cm	50 e 100 cm	- textura arenosa ou média até a camada restritiva moderada e Tb (T < 27 cmol <sub>e</sub> /kg de argila)	B	4	
				- textura média, argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol <sub>e</sub> /kg de argila, elevado teor de óxidos de ferro e/ou propriedades ácricas	B	5	
				- textura arenosa ou média até a camada restritiva moderada e Ta (T ≥ 27 cmol <sub>e</sub> /kg de argila)	C	6	
		≤ 50 cm	≤ 50 cm	≤ 50 cm	- textura arenosa/média, arenosa/argilosa, arenosa/muito argilosa, média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa e Tb	C	7
					- textura média, argilosa ou muito argilosa até a camada restritiva moderada e T < 17 cmol <sub>e</sub> /kg de argila	C	8
					- textura arenosa/média, arenosa/argilosa, arenosa/muito argilosa, média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa e Ta	D	9
	ausente	ausente	ausente	- textura argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa, Tb e razão textural menor do que 1,5	B	10	
				- textura média/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa e Tb	B	11	
				- textura argilosa ou muito argilosa, T < 17 cmol <sub>e</sub> /kg de argila, baixo a médio teor de óxidos de ferro e sem propriedades ácricas	B	12	
				- horizonte B incipiente e caráter latossólico	B	13	
				- textura média/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa e Ta	C	14	
				- textura média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa e horizonte vértico	D	15	
	50 e 100 cm	---	---	- textura arenosa; textura média, argilosa ou muito argilosa e Tb; textura média (< 20 % de argila) e Ta	C	16	
				- textura média (≥ 20% de argila), argilosa ou muito argilosa e Ta	D	17	
					D	18	
	≤ 50 cm	---	---		D	18	
≤ 100 cm	---	---		D	19		

Observações:

- 1 - Lençol d'água inclui o freático e o suspenso ou temporário.
- 2 - Camada restritiva forte inclui os horizontes litoplântico (concrecionário), petroplântico, petrocálcico e plântico, o contato lítico, o ortstein, o duripã e o fragipã.
- 3 - Camada restritiva moderada inclui a mudança textural abrupta e os horizontes coeso e plântico.
- 4 - T: Capacidade de Troca de Cátions da fração argila do horizonte subsuperficial sem desconto de carbono.
- 5 - Ta: Argila de alta atividade (T ≥ 27 cmol<sub>e</sub>/kg de argila).
- 6 - Tb: Argila de baixa atividade (T < 27 cmol<sub>e</sub>/kg de argila).
- 7 - Grupamento textural segundo Embrapa (2006): textura arenosa, média, siltosa, argilosa e muito argilosa.
- 8 - Textura x/y significa que o horizonte superficial possui textura x e o subsuperficial y.

Grupo Hidrológico B – São solos que possuem permeabilidade moderadamente rápida e não apresentam dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso e camada restritiva forte, mas podem apresentar camada restritiva moderada entre 50 e 100 cm de profundidade. Neste grupo se enquadram solos bastante intemperizados de textura média, argilosa ou muito argilosa, com teor de óxido de ferro médio a baixo e sem propriedades ácricas, solos que apresentam ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plântico entre 50 e 100 cm de profundidade e solos Tb com horizonte B textural ou B incipiente com caráter latossólico.

Grupo Hidrológico C – São solos que possuem permeabilidade moderadamente lenta e não apresentam dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso, mas podem apresentar camada restritiva forte entre 50 e 100 cm ou camada restritiva moderada dentro de 100 cm de profundidade. Este pode incluir solos arenosos e solos bastante intemperizados que apresentam camada restritiva forte entre 50 e 100 cm, solos Tb que podem apresentar ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plântico dentro de 50 cm de profundidade, solos Ta que podem apresentar ou mudança textural abrupta ou horizonte coeso ou horizonte plântico entre 50 cm e 100 cm de profundidade e solos Ta com horizonte B textural.

Grupo Hidrológico D – São solos que possuem permeabilidade lenta e podem ou não apresentar dentro de 100 cm de profundidade lençol d'água subterrâneo ou suspenso, camada restritiva forte e moderada. Neste grupo está incluída uma variedade de solos, desde arenosos a argilosos, devido às condições limitantes presentes. Por exemplo, um solo de textura arenosa pode ser classificado como D pela presença de lençol d'água subterrâneo a profundidade inferior a 100 cm ou por apresentar camada restritiva forte dentro de 50 cm de profundidade ou horizonte vértico sem apresentar qualquer camada restritiva ou lençol d'água dentro de 100 cm de profundidade.

#### **4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO**

O Atual SiBCS (EMBRAPA, 2006) define 13 ordens de solos: Argissolos; Cambissolos; Chernossolos; Espodossolos; Gleissolos; Latossolos; Luvisolos; Neossolos; Nitossolos; Organossolos; Planossolos; Plintossolos; e Vertissolos. As ordens dos Latossolos, dos Argissolos e dos Neossolos representam cerca de 70% da área territorial brasileira, sendo, portanto, as ordens mais comuns em todos os estados da federação.

Para ilustrar a aplicação da classificação hidrológica de solos proposta e da classificação do NRCS (2009) foram selecionados de bibliografias onze perfis de solos, pertencentes às ordens de maior expressividade no Brasil, com dados de condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil. Os perfis selecionados estão distribuídos em cinco das treze ordens estabelecidas pela Embrapa, como segue: Argissolos (Perfil 1, 2 e 3), Chernossolos (Perfil 4), Gleissolos (Perfil 5); Latossolos (Perfil 6, 7, 8 e 9) e Neossolos (Perfil 10 e 11).

As informações relevantes e os resultados da aplicação dos critérios de classificação hidrológica de solos propostos e do NRCS (2009) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Aplicação das classificações hidrológicas proposta e do NRCS (2009).

Perfil	Horiz.	Prof. (cm)	Classe Textural do USDA (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993)	Ks (mm/h)	GHS - Classificação Proposta	GHS - Classificação do NRCS (2009)
1	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto				GHS C	GHS C
	Ap	0 - 12	Areia Franca	119	Mudança textural abrupta dentro de 50 cm de profundidade; satisfaz o critério 7	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 3,3 µm/s
	E	12 - 28	Areia Franca	92		
	Bt1	25 - 51	Franco argilo arenoso	65		
	Bt2	57 - 87	Franco argilo arenoso	12		
	Bt3	87 - 120	Franco argilo arenoso	47		
2	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico arênico abrupto				GHS B	GHS B
	Ap	0 - 28	Areia	103	Mudança textural abrupta entre 50 e 100 cm de profundidade; satisfaz o critério 4	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 6,1 µm/s
	E	28 - 65	Areia Franca	94		
	Bt1	65 - 80	Franco arenoso	44		
	Bt2	80 - 108	Franco argilo arenoso	22		
3	Argissolo Amarelo coeso				GHS C	GHS C
	Ap	0 - 20	Franco argilo arenoso	55	Horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade; satisfaz o critério 7	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 0,6 µm/s
	AB	20 - 46	Argila arenosa	52		
	BA	46 - 67	Argila	7		
	Bt1	67 - 103	Argila	2		
4	Chernossolo Háptico Órtico léptico				GHS C	GHS B
	A1	0 - 7	Franco arenoso	113	Apresenta contato lítico entre 50 e 100 cm, textura média (< 20% de argila) e Ta; satisfaz o critério 16	Camada impermeável entre 50 e 100 cm e lençol d'água abaixo de 60 cm; Ks = 19,2 µm/s
	AB	7 - 30	Franco arenoso	72		
	BA	30 - 47	Franco arenoso	70		
	Bi	47 - 80	Franco arenoso	69		
5	Gleissolo Háptico Tb Distrófico				GHS D	GHS D
	Ap	0 - 10	Areia	143	Horizonte glei inicia-se a 25 cm da superfície. Isso indica lençol subterrâneo elevado, < 60 cm; satisfaz o critério 19	lençol subterrâneo elevado em algum mês do ano.
	A/C	10 - 23	Areia	140		
	Cg1	23 - 61	Areia	140		
	Cg2	61 - 121	Areia	140		
6	Latossolo Amarelo Coeso				GHS C	GHS A
	A	0 - 17	Franco argilo arenoso	372	Horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade; satisfaz o critério 7	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 11,1 µm/s
	AB	17 - 35	Franco argilo arenoso	142		
	BA	35 - 70	Argila arenosa	40		
7	Latossolo Amarelo Coeso				GHS C	GHS C
	Ap	0 - 18	Franco argilo arenoso	97	Horizonte coeso dentro de 50 cm de profundidade; satisfaz o critério 7	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 2,4 µm/s
	AB	18 - 46	Argila arenosa	32		
	BA	46 - 80	Argila	11		
	Bw1	80 - 150	Argila	9		
8	Latossolo Vermelho Acriférico, textura argilosa				GHS A	GHS A
	A1	0 - 25	Argila	1297	textura argilosa, CTC < 17 cmol/kg de argila, alto teor de óxido de ferro e com propriedades ácidas; satisfaz o critério 12	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 224 µm/s
	A/B	27 - 45	Argila	1249		
	Bw1	45 - 77	Argila	963		
	Bw2	77 - 165	Argila	807		
9	Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa				GHS B	GHS A
	Ap	0 - 10	Argila	160	textura argilosa, CTC < 17 cmol/kg de argila, baixo teor de óxido de ferro e sem propriedades ácidas; satisfaz o critério 12	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 52,8 µm/s
	A3	10 - 35	Argila	190		
	B1	35 - 70	Argila	306		
	B21	70 - 150	Argila	250		
10	Neossolo Lítico				GHS D	GHS D
	Ap	0 - 37	Franco arenoso	118	contato lítico a 50 cm de profundidade; satisfaz o critério 18	Camada impermeável dentro de 50 cm de profundidade
	Cr	37 - 55	Franco arenoso	115		
11	Neossolo Quartzarênico Órtico gleico				GHS A	GHS A
	Ap	0 - 16	Areia Franca	185	solo de textura arenosa até a camada restritiva que está abaixo de 100 cm de profundidade; satisfaz o critério 1	Camada impermeável e lençol d'água abaixo de 100 cm de profundidade; Ks = 51,5 µm/s
	A31	16 - 30	Areia Franca	212		
	A32	30 - 50	Areia	377		
	AC	50 - 66	Areia	345		
	C1	66 - 84	Areia	263		
	C2	84 - 104	Areia	381		

Fonte: Perfil 1, 2, 4, 5 e 10 (ZIMBACK, 1993); Perfil 3 e 7 (PAIVA et al., 2000); Perfil 6 (SILVA e RIBEIRO, 1997); Perfil 8 (TOGNON, 1991); Perfil 9 (CORDEIRO, 1997); Perfil 11 (BERNARDES, 2005).



Os resultados da aplicação das classificações hidrológicas proposta e do NRCS mostram boa correspondência entre elas. Com relação ao perfil 4 (Chernossolo) suas características principais são a textura média dos horizontes superficial e subsuperficial, o contato lítico entre 50 e 100 cm de profundidade, que é um impedimento forte à percolação de água, e a atividade alta da fração argila. Contudo, o teor de argila é em torno de 12 %. Segundo Oliveira (2005) a estrutura em blocos ou prismática fortemente desenvolvida está, em geral, relacionada a solos de textura média com teor de argila superior a 30% ou ligeiramente inferior quando essa fração apresenta alta atividade. Assim, embora a fração argila desse perfil apresente elevada atividade, as propriedades da fração areia são dominantes por representar cerca de 70% da fração terra fina seca ao ar. Isto justifica em parte a boa condutividade hidráulica saturada do horizonte Bi, a qual segundo os critérios do NRCS (2009) permitiu classificá-lo no GHS B.

Os perfis 6 e 7 (Latosolos Coeso) foram classificados no mesmo grupo hidrológico pela classificação proposta enquanto que pelo critérios do NRCS foram classificados no GHS A e C, respectivamente. Como pode ser observado, o horizonte coeso do perfil 6 apresenta textura mais grossa que o horizonte coeso do perfil 7. Talvez isso possa justificar tal diferença. Contudo, a classificação hidrológica proposta não aborda esse nível detalhamento e para desenvolvê-lo seriam necessários dados de campo.

O destaque desse exemplo de aplicação é que os Latossolos Vermelhos de textura argilosa estão entre os que apresentam as maiores condutividades hidráulicas saturadas. Embora os valores da  $K_s$  permitam classificá-los no GHS A pelos critérios do NRCS (2009), optou-se por diferenciar os que apresentam elevado teor de óxido de ferro daqueles com baixo a médio teor de óxido de ferro, visto que a  $K_s$  média do horizonte B dos Latossolos com baixo a médio teor óxido de ferro é em torno de 50 % da  $K_s$  média do horizonte B dos Latossolos Férricos (SARTORI, 2010).

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho fez-se um histórico sobre a evolução da classificação hidrológica de solos do Método do CN e, devido sua dificuldade de aplicação no Brasil, foi proposta uma classificação hidrológica de solos alternativa para uso com o Método do CN. A classificação proposta e a atual classificação do NRCS foram aplicadas a onze perfis de solos para exemplificar o uso de seus critérios de classificação.

Os resultados obtidos com o exemplo de aplicação permitem inferir que a classificação hidrológica proposta é viável e tecnicamente possível devido a: (1) as propriedades usadas estarem disponíveis nos boletins de levantamento e na classificação pedológica dos solos; (2) as propriedades usadas influenciarem indiretamente no comportamento hidrológico dos solos; (3) os critérios serem claros e de fácil entendimento, ou seja, não exigem conhecimentos avançados sobre pedologia. Os resultados também indicam uma tendência da classificação hidrológica proposta ser mais conservadora do que a classificação hidrológica do NRCS, isto é, quando se desvia da classificação do NRCS tende para grupos hidrológicos de solos de maior potencial de escoamento superficial. No entanto, a classificação hidrológica proposta traz maior padronização para os critérios de classificação do que dados de condutividade hidráulica saturada, medidos ao longo do perfil de solo, devido à elevada variabilidade de suas medições e também devido ao uso de diferentes métodos de medição.

Apesar dos bons resultados obtidos com a classificação hidrológica proposta suportarem sua indicação para uso no Brasil, ela não está fechada e ajustes para melhorar sua aplicação poderão ser realizados. Por exemplo, nos critérios de classificação podem ser incluídos atributos químicos e mineralógicos assim como o detalhamento da textura do solo. No entanto, para o propósito de aplicações práticas, estas melhorias se viabilizarão apenas quando as informações necessárias estiverem disponíveis nos levantamentos pedológicos e na classificação dos solos. Portanto, pode-se concluir que a classificação hidrológica proposta é adequada à realidade atual do Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro concedido ao primeiro autor como bolsa de estudos.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BERNARDES, R. S. *Condutividade Hidráulica de três solos da região Norte Fluminense*. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ, 2005.
- BRADY, N.C.; WEIL, R. R. *Elements of the nature and properties of soils*. New Jersey, Prentice Hall, 2000. 573p.

- BRAKENSIEK, D. L.; RAWLS, W. J. “*Green-Ampt Infiltration Model Parameters for Hydrologic Classification of Soils*”. In: Specialty Conference on Advances in Irrigation and Drainage: Surviving external pressures, July, 20-22, 1983, Jackson, Wyoming, USA. Proceedings ... ASCE/ASAE, 1983, p. 226-233.
- CORDEIRO, J. C. *Características Físico-Hídricas de Latossolos sob Vegetação de Cerrados do Brasil Central*. 1977. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1977.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2.<sup>a</sup> Ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FREIRE, O. *Solos das regiões tropicais*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2006. 268p.
- HAWKINS, R. H. “*Infiltration and Curve Numbers: Some Pragmatic and Theoretic Relationships*”. In: Symposium of Watershed Management, 1980, Boise, Idaho, USA. Proceedings ... American Society of Civil Engineering, 1980. p. 925-937.
- HAWKINS, R. H. “*Re: I invite you participate of one project as co-advisor or professor collaborator*”. Mensagem pessoal recebida por: <adersonxt4@yahoo.com.br> em 13/04/2005.
- LANGAN, L. N.; LAMMERS, D. A. “*Definitive Criteria for Hydrologic Soil Groups*”. Soil Survey Horizons, v. 32, n.3, p. 69-77.
- LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPCH, I. F.; OLIVEIRA, J.B. “*Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços*”. In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, 1989, Campinas-SP. Anais ... Fundação Cargill, 1989. p.99-124.
- MUSGRAVE, G.W. “*How much of the rain enters the soil?*” In: USDA. *Water: The yearbook of agriculture*. 1955. p.151-159.
- NIELSEN, R. D.; HJELMFELT JR, A. T. “*Hydrologic soil-group assignment*”. In: International Water Resources Engineering Conference, 1998, Memphis, Tennessee. Proceedings ... ASCE, 1998, Water Resources Engineering, v2, p.1297-1302.
- NRCS - Natural Resources Conservation Service. “*Chapter 7: Hydrologic Soil Groups*”. In: *National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology*. 2009. Disponível em: <<http://directives.sc.egov.usda.gov/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2010.
- OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.
- PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. “*Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do Estado da Bahia*”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.11, p.2295-2302, 2000.

- RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. “*Estimation of Soil Water Properties*”. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, v.25, n.5, p. 1316-1320, 1982.
- SARTORI, A. *Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN*. 2010. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2010.
- SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. “*Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 2: Aplicação*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n.º 4, p. 19-29, Out/Dez, 2005b.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. “*Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n.º 4, p. 5-18, Out/Dez, 2005a.
- SCS – Soil Conservation Service. *National Engineering Handbook: Section 4, Hydrology*. 1972.
- SETZER, J; PORTO, R. L. L. “*Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo*”. Boletim Técnico DAEE, v. 2, n.2, p.81-104, 1979.
- SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. “*Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado Alagoas: atributos morfológicos e físicos*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, n.4, p.677-684, 1997.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. “*Soil survey manual*”. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, 1993.
- TOGNON, A. A. *Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guáira-SP sob diferentes sistemas de cultivo*. 1991. 67p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 1991.
- WOOD, M. K.; BLACKBURN, W. H. “*An Evaluation of the Hydrologic Soil Groups as Used in the SCS Runoff Method on Rangelands*”. Water Resources Bulletin, v.20, n.3, p. 379-389, 1984.
- ZIMBACK, C. R. L. *Levantamento semidetalhado e caracterização hídrica de solos provenientes do grupo Bauru, em duas bacias hidrográficas, na região de Marília-SP*. 1993. 184p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 1993.