
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA - DEHID

RECURSOS HIDRICOS

Área : Recursos Hídricos Superficiais
Sub-Área: Pesquisas e Estudos Hidrológicos



Projeto

“Estudos de Caracterização Hidrológica dos Solos”

RELATÓRIO

Janeiro/2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice da Silva Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Responsável pelo projeto

Marta Vasconcelos Ottoni

Equipe de execução (2020)

Leonardo Tristão Chargel

Marta Vasconcelos Ottoni

Michele Bruna de Souza do Nascimento

Zayra Christiny dos Santos de Souza (Jovem Aprendiz)

Apoio

Paulo Roberto Rodrigues Benevides (SUREG-MA)

Agradecimentos

João Herbert Moreira Viana (Embrapa Milho e Sorgo)

Wenceslau Geraldês Teixeira (Embrapa Solos)

RESUMO

Este relatório discorre sobre as principais atividades do projeto “Estudos de Caracterização Hidrológica dos Solos” e destaca a relevância da pesquisa na área hidropedologia no cenário nacional e internacional. O projeto teve início em 2011 e tem como objetivo geral a ampliação do entendimento dos caminhos das águas no solo e sua interação com os fluxos de água superficiais e subterrâneos nas diferentes escalas de espaço-tempo. Neste trabalho são previstas diversas linhas específicas de pesquisa técnico-científica, incluindo a implementação da rede de monitoramento de água e solo no território nacional, a proposição de metodologias para caracterização da arquitetura dos solos e sua relação com a funcionalidade hídricas nas diferentes escalas de espaço-tempo e a organização de bases de dados hidrofísicos em solos brasileiros. Nesses nove anos de projeto, foram publicados diversos artigos, realizados alguns cursos de treinamento, participação de bancas de conclusão de final de curso de graduação, dissertação de mestrado e doutorado e revisão de diversos artigos de renomados jornais científicos nacionais e internacionais. Mais recentemente foi publicado o HYBRAS (banco de dados hidrofísicos em solos brasileiros) e finalizadas diferentes proposições metodológicas de classificação de solos segundo uma ótica hidrológica. Por fim, foram discutidas as expectativas futuras no projeto, em especial a que se refere a seleção de uma bacia experimental para desenvolvimento dos estudos previstos no contexto do projeto e treinamento de equipe.

ABSTRACT

This report discusses the main activities of the “Soil Hydrological Characterization Studies” project and highlights the relevance of research in the hydrology area in the national and international scenario. The project started in 2011 and its general objective is to broaden the understanding of the water paths in the soil and its interaction with the surface and underground water flows in the different space-time scales. In this work, several specific lines of technical and scientific research are foreseen, including the implementation of the water and soil monitoring network in the national territory, the proposition of methodologies for characterizing the architecture of soils and their relationship with water functionality in different space scales and the organization of hydrophysical databases in Brazilian soils. In these almost ten years of the project, several articles have been published, some training courses have been carried out, participation in the conclusion of graduation courses, master's dissertations, doctoral thesis and review of several articles from renowned national and international scientific newspapers. More recently, HYBRAS (hydrophysical database for Brazilian soils) has been published and different methodological proposals for soil classification have been finalized according to a hydrological perspective. Finally, future expectations on the project were discussed, in particular, regarding the selection of an experimental basin for the development of studies planned in the context of the project and team training.

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	6
2. ENFOQUE DO PROJETO.....	9
3. EQUIPE DO PROJETO	10
4. COMPONENTES DO PROJETO.....	11
5. CONTEXTO DA INOVAÇÃO	12
6. PRODUTOS ALCANÇADOS.....	13
7. EXPECTATIVAS FUTURAS	29
8. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL	29

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A Hidrologia é por definição uma ciência que trata da ocorrência, circulação e distribuição da água na terra, das suas propriedades físicas e químicas, e da sua interação com o meio. Apesar desse conceito tratar a água no seu sentido mais amplo, englobando a parcela da água doce e salgada, tradicionalmente, a ciência hidrológica enfoca seus estudos na parcela de água doce presente no Planeta Terra, deixando a da salgada para tratativas da oceanografia.

A expressão mais completa da definição da Hidrologia é encontrada no ciclo hidrológico que representa não apenas os diferentes componentes desse ciclo e suas conexões, como também os reservatórios aéreos (atmosfera), superficiais (cursos de água e reservatórios) e subsuperficiais (pedosfera e litosfera) terrestres por onde a água circula e é armazenada.

A pedosfera é o reservatório de água mais superficial da crosta terrestre, resultado da interação entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, e atua como fonte de água e nutrientes para sustentação da vida do solo, o que inclui os vegetais, e faz interface com todos os demais reservatórios de água permitindo ser um elo de comunicação e interação dos fluxos de água em superfície e subsuperfície. São as condições de superfície da pedoesfera e das suas características morfológicas e físico-químicas em subsuperfície que ditam o regime das águas de infiltração, escoamento superficial, evaporação e escoamento de água em subsuperfície, como também o da recarga das águas subterrâneas, atuando como um importante regulador do ciclo hidrológico.

No entanto, os estudos atuais da hidrologia no mundo e principalmente no Brasil são centrados especialmente na hidrologia de superfície, com menor enfoque na hidrologia subterrânea e em especial na hidrologia de solos, essas áreas hoje são preponderantemente tomadas por profissionais de hidrogeologia (ramo da geologia), pedologia e física do solo (ramos da ciência do solo), respectivamente. Esse cenário se reflete nos programas de monitoramento das águas, principalmente voltadas à caracterização das águas de superfície e em menor grau na representação das águas subterrâneas. O controle das águas armazenadas na pedoesfera ainda não é realizado de forma sistemática no Brasil e no mundo. Essa carência de estudos e de monitoramento na zona intermediária dos terrenos, a pedosfera, obscurece o entendimento dos processos hidrológicos ocorrentes na superfície e na litosfera e limita o conhecimento integrado de todo o ciclo hidrológico.

A hidrologia de solos é um ramo da hidrologia que busca quantificar o volume de água armazenado na pedosfera e entender os fluxos de água oriundos da matriz porosa desse meio e suas conexões com os demais reservatórios de água que a pedosfera faz interface. É uma área de conhecimento complexa, pois demanda domínio em diversas áreas do saber, em especial da pedologia e física do solo, devendo também ser sustentada por aprendizado de disciplinas de cálculo, física e estatística para viabilizar o entendimento dos mecanismos e processos e definir e calcular sistemas de equações que representam o fluxo e armazenamento de água no meio poroso, bem como o transporte de demais substâncias nesse meio. No entanto, são poucos cursos de formação em engenharia civil, de onde a hidrologia tradicionalmente tem sua origem, que oferecem essa diversidade de disciplinas do saber das geociências. A implicação disso é um número muito reduzido de profissionais habilitados na hidrologia de solo e diversas lacunas de conhecimento nessa área. Essa carência do conhecimento integrado da relação solo x água resultou, por exemplo, em pedólogos concluírem afirmativas empíricas sobre funções do solo que não necessariamente são suportadas por medidas hidrológicas. Reforçou também, pelo lado dos hidrólogos, suposições irrealistas de homogeneidade e isotropia nos solos, bem como de condições de contorno e iniciais adequadas nos seus modelos caixa-preta que claramente não refletem as condições do mundo verdadeiro da movimentação de água nos solos.

Lin (2012) listou mais detalhadamente algumas das lacunas do conhecimento na hidrologia de solo por razões dessa falta de integração da hidrologia com outras disciplinas voltadas ao conhecimento da pedoesfera. São elas:

- Como prever os caminhos dos fluxos preferenciais e suas dinâmicas nas diferentes escalas e suas interfaces com a matriz dos solos, e sua significância em diferentes tipos de solos e paisagens. Hidrólogos podem não ter uma visão clara dos caminhos dos fluxos de água na zona não saturada antes de começar a modelagem ou os experimentos no campo;
- Onde, quando e como a água se move nas diferentes partes da paisagem e quais seus impactos nos processos físicos, químicos e biológicos do solo e os subsequentes padrões espaço-tempo da distribuição e funções dos solos. Recentemente, muitos modelos hidrológicos fazem um trabalho ainda muito precário na predição de fluxo subsuperficial lateral e fluxo de base versus *runoff* no total da vazão fluvial;
- Como conectar as múltiplas escalas do nível microscópico (poros e agregados) ao mesoscópico (pedon e catena), macroscópico (áreas de

captação e bacias hidrográficas) e megascópico (regional e global) para integrar os processos no solo e hidrológicos;

- Hidrólogos precisam de informações de parâmetros hidráulicos de solo em seus modelos e dos caminhos de fluxo de água, mas poucos dados são frequentemente disponíveis ou difícil de encontrá-los em grandes volumes. Procedimento aprimorados para extrair informações úteis de bases de dados de levantamento de solos e necessidade de aumentar as interpretações quantitativas sobre as características de fluxo e transporte em diferentes escalas;
- Como estratificar (ou classificar) a paisagem em unidade funcionais que apresentem processos e propriedades pedológicos e hidrológicos similares e como otimizar o monitoramento ou os locais de amostragens de modo que o *upscaling* possa ser possível.

Visando cobrir a deficiência do conhecimento hidrológico na pedosfera foi recentemente proposto o termo hidropedologia, que visa representar um ramo do conhecimento geocientífico que trate sobre os estudos integrados das relações solo-água em escalas espaciais e temporais, buscando maior sinergia entre a pedologia, física do solo e hidrologia. Esse termo é ainda mais abrangente que o conceito de hidrologia de solos, pois o primeiro visa o entendimento da arquitetura dos solos nas diferentes escalas espaciais e seus efeitos nas funções hídricas e transporte de substâncias, enquanto que hidrologia de solos tem o enfoque mais voltado para representação dos armazenamentos e fluxos hídricos no meio poroso do solo, com antes dito.

Segundo Lin (2012), algumas questões essenciais devem ser tratadas nos estudos em hidropedologia:

- ✓ Entendimento adequado da arquitetura do solo e sua relação com a paisagem nas diferentes escalas de análise e suas correspondentes funções hidrológicas;
- ✓ Estabelecimento de relações quantitativas dessas estruturas do solo com suas funções hidrológicas;
- ✓ Realizar a conexão de escalas; i.e. utilizar informações da estrutura e função obtidas na escala microscópica para prever a função hidrológica e estrutura na escala mais grosseira, ou usar informações da escala mais grosseira para enriquecer o conhecimento da estrutura e função da escala mais de detalhes;
- ✓ Como os processos hidrológicos influenciam a gênese, evolução, variabilidade e função do solo no espaço e tempo?

No Brasil, ainda há poucos trabalhos com abordagens dessas questões hidropedológicas. Encontram-se algumas pesquisas na Universidade Federal de Lavras (Mello e Curi, 2012; Menezes, 2011; Alvarenga, 2010), na UFRJ (Leal, 2011; Ottoni, 2005) e UFRRJ (Brito, 2004). As tentativas atuais em se abordar essas questões nos diferentes solos do Brasil são tratadas de forma muito qualitativas, como no estudo de da Silva (2000).

Considerando as deficiências atuais da hidrologia no contexto do entendimento das relações solo e água, e por ser a CPRM o órgão do governo federal responsável em gerar conhecimento geocientífico no Brasil, o departamento de hidrologia da sua diretoria de hidrologia e gestão territorial deu início, em 2011, ao projeto institucional “Estudos de caracterização hidrológicas dos solos”. Esse projeto é de cunho técnico-científico e tem como objetivo geral a ampliação do entendimento dos caminhos das águas no solo e sua interação com os fluxos de água superficiais e subterrâneos nas diferentes escalas de espaço-tempo. O logotipo do projeto é apresentado na Figura 1 e busca ilustrar o objeto central do estudo. Os objetivos específicos deste trabalho encontram-se detalhadas na próxima seção.



Figura 1 – logotipo do projeto

2. ENFOQUE DO PROJETO

Os objetivos específicos do projeto estão ancorados nas questões essenciais da hidropedologia, conforme acima descritas. São eles:

- monitoramento dos processos hidrológicos no solo na escala de pequenas bacias hidrográficas experimentais sustentado pelo conhecimento detalhado das características pedológicas dos solos dessa área;
- implementação da rede de monitoramento de água e solo no território nacional;

- conhecimento do comportamento hidráulico dos solos do Brasil nos seus diferentes biomas;
- proposição de metodologias para caracterização da arquitetura do solos e sua relação com a funcionalidade hídricas nas diferentes escalas de espaço-tempo;
- organização de bases de dados hidrofísicas em solos brasileiros;
- desenvolvimento de funções de pedotransferências de propriedades hidráulicas, que são modelos que visam estimar essas propriedades de difíceis medições a partir de outros atributos do solos mais facilmente e amplamente disponíveis. Essas funções também permitem transformar as informações de solos obtidas no ponto para escalas de maiores proporções (*upscaling*);
- testes em laboratórios para aprimoramento e comparação de métodos de determinação das propriedades hidráulicas do solo;
- proposição de metodologias para estimativas dos componentes hidrológicos a partir das variáveis hidropedológicas na escala de bacias hidrográficas;
- modelagem hidrológica visando investigar o efeito do solo e de seus dados de entrada na geração dos componentes hidrológicos;
- implantação de bacias escolas para realização de cursos de treinamento em hidropedologia para profissionais de diferentes formações e alunos de ensino médio, fundamental e de graduação;
- realização de cartilhas sobre a importância dos solos na perspectiva da hidrologia;

Este projeto encontra-se em fase muito embrionária e muitas dos itens acima listados ainda não foram implementados. Espera-se que com o aumento do aparato de pessoal, laboratório e experimentação no campo seja possível avançar mais rapidamente nessas temáticas. Na seção 6.0 é apresentado um resumo dos principais produtos conquistados ao longo desses últimos nove anos de projeto.

3. EQUIPE DO PROJETO

Este projeto por ser de natureza multidisciplinar requer profissionais capacitados e com formação nas áreas de hidrologia, pedologia e física do solo, dependendo também de

conhecimentos de programação computacional, manipulação das ferramentas do ArcGis e análise e consistência de dados em solos.

Atualmente, a equipe é composta por 1 pesquisador em geociências em tempo integral, com formação nas áreas demandantes do projeto, e que atua na coordenação e execução do projeto; 1 técnico em geociências em tempo integral que atua em georreferenciamento, programação computacional e experimentos de campo; 1 técnico em geociência em termo parcial e 1 jovem aprendiz em tempo integral, ambos responsáveis por digitação, manipulação e consistência de dados em solos.

4. COMPONENTES DO PROJETO

O projeto “Estudos de caracterização hidrológicas dos solos” se sustenta em três pilares de atuação: a integração com instituições que desenvolvem estudos em hidropedologia, experimentos em bacias experimentais e o desenvolvimento de pesquisas nas linhas temáticas do projeto, conforme esquematizadas na Figura 2.



Figura 2- Estrutura do Projeto “Estudos de caracterização hidrológicas dos solos”.

A integração interinstitucional visa a troca de experiência e conhecimento entre a CPRM e diversas instituições atuantes na temática do estudo e, em especial, possibilitar a capacitação da equipe do projeto de formação multidisciplinar nas disciplinas básicas de hidrologia, pedologia e física do solo. Nas seções 6.2 e 6.7 são descritos alguns cursos de formação já realizados e estudos desenvolvidos em parcerias com outras instituições, respectivamente.

Os experimentos em bacias experimentais é um dos pilares mais importantes do projeto por meio do qual as hipóteses do estudo devem ser testadas, e onde espera-se capacitar equipes nas disciplinas requeridas pela hidropedologia. Tais bacias experimentais

também devem servir como centro de referência para testes de equipamentos e experimentação de métodos de medição.

Pretende-se escolher uma pequena sub-bacia hidrográfica, na ordem de 1 km² de área, localizada próximo ao município do Rio de Janeiro, onde a equipe principal do projeto encontra-se instalada, e que disponha de uma rede de monitoramento hidrometeorológica operada pela CPRM para viabilizar os estudos integrados em recursos hídricos na região e facilitar a operação e instalação dos novos equipamentos de solo.

Atendendo a esses critérios, a CPRM já detém de uma bacia experimental do rio Piabanha, na região Serrana do Rio de Janeiro, a qual tem o projeto EIBEX/CPRM como gestor principal das atividades de operação e pesquisa na área. Espera-se, portanto, a seleção de uma das áreas prioritárias de estudo nessa bacia.

Encontra-se em análise a viabilidade de se instalar laboratórios de água e solo na CPRM para o processamento e análise de amostras de solos extraídas em campanhas experimentais do projeto. Enquanto isso, são utilizados laboratórios de parceiros ou laboratórios contratados.

Por último, o projeto tem o intuito de desenvolver pesquisa e estudos nas linhas mestre de trabalhos descritas na seção 2.0. Os estudos já publicados são listados na seção 6.1.

5. CONTEXTO DA INOVAÇÃO

O caráter inovador deste projeto está em oportunizar estudos que tragam luz ao entendimento dos processos hidrológicos no solo e seus efeitos nos fluxos hídricos presentes nos demais reservatórios de água, ampliando o entendimento integrado dos recursos hídricos e permitindo a proposição de novas metodologias de caracterização e representação dos processos hidrológicos nas diferentes escalas espaço-tempo, auxiliando, portanto, tomadas de decisão mais efetivas em políticas voltadas à gestão de recursos hídricos.

O projeto é também uma oportunidade de capacitar os hidrólogos, pedólogos e físicos de solos em disciplinas das geociências relacionadas ao entendimento dos ambientes que afetam a geração dos componentes hidrológicos e que nem sempre são oferecidas nos cursos de formação desses profissionais. Isso os habilitará a atuar de forma mais efetiva na simulação e previsão dos fluxos de água em superfície e subsuperfície, pois

terão uma visão mais integrada e detalhada dos fatores e ambientes que afetam esses fluxos.

6. PRODUTOS ALCANÇADOS

Os produtos desenvolvidos no âmbito do Projeto “Estudos de caracterização hidrológica de solos” estão relacionados aos pilares de sustentação descritos anteriormente (seção 4.0) e envolvem uma gama de publicações; treinamentos e capacitações; participação de bancas de conclusão final de curso, mestrado e doutorado, orientação de pesquisa; revisão de trabalhos científicos; desenvolvimento de metodologias e articulação institucional, dentre outros, conforme listados nos itens a seguir.

6.1. Publicações

Periódicos

1. GETIRANA, A.; KIRSCHBAUM, D.; MANDARINO, F.; OTTONI, M.; KHAN, S.; ARSENAULT, K. Potential of GPM IMERG Precipitation Estimates to Monitor Natural Disaster Triggers in Urban Areas: The Case of Rio de Janeiro, Brazil. *Remote Sens.* 2020, 12, 4095.
2. OTTONI FILHO, THEOPHILO B. ; LOPES ALVAREZ, MARLON G. ; OTTONI, MARTA V. ; AMORIM, ARTHUR BERNARDO BARBOSA DIB . Extension of the Gardner exponential equation to represent the hydraulic conductivity curve. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, v. 67, p. 359-371, 2019.
3. OTTONI, MARTA VASCONCELOS; OTTONI FILHO, THEOPHILO BENEDICTO ; LOPES-ASSAD, MARIA LEONOR R.C. ; ROTUNNO FILHO, OTTO CORRÊA . Pedotransfer functions for saturated hydraulic conductivity using a database with temperate and tropical climate soils. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, v. 575, p. 1345-1358, 2019.
4. OTTONI, MARTA VASCONCELOS; OTTONI FILHO, THEOPHILO BENEDICTO ; SCHAAP, MARCEL G. ; LOPES-ASSAD, MARIA LEONOR R.C. ; ROTUNNO FILHO, OTTO CORRÊA . Hydrophysical Database for Brazilian Soils (HYBRAS) and Pedotransfer Functions for Water Retention. *VADOSE ZONE JOURNAL*, v. 17, p. 1-17, 2018.
5. RAHMATI, MEHDI WEIHERMÜLLER, LUTZ VANDERBORGHT, JAN PACHEPSKY, YAKOV A. MAO, LILI SADEGHI, SEYED HAMIDREZA MOOSAVI, NILOOFAR KHEIRFAM, HOSSEIN MONTZKA, CARSTEN VAN LOOY, KRIS TOTH, BRIGITTA HAZBAVI, ZEINAB AL YAMANI, Wafa ALBALASMEH, AMMAR A. ALGHZAWI, MA&APOS ANGULO-JARAMILLO, RAFAEL ANTONINO, ANTÔNIO CELSO DANTAS ARAMPATZIS, GEORGE ARMINDO, ROBSON ANDRÉ ASADI, HOSSEIN BAMUTAZE, YAZIDHI BATLLE-AGUILAR, JORDI BÉCHET, BÉATRICE BECKER, FABIAN BLÖSCHL, GÜNTER , et al. ; Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database. *Earth System Science Data*, v. 10, p. 1237-1263, 2018.
6. OTTONI FILHO, THEOPHILO BENEDICTO ; OTTONI, MARTA VASCONCELOS ; OLIVEIRA, MURIEL BATISTA DE ; MACEDO, JOSÉ RONALDO DE ; REICHARDT, KLAUS . Revisiting Field Capacity (FC): variation of definition of FC and its estimation from pedotransfer functions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 38, p. 1750-1764, 2014.
7. OTTONI FILHO, THEOPHILO BENEDICTO ; OTTONI, MARTA VASCONCELOS ; OLIVEIRA, MURIEL BATISTA DE ; MACEDO, JOSÉ RONALDO DE . Estimation of field capacity from ring infiltrometer-drainage data. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 38, p. 1765-1771, 2014.

Capítulos de livro

1. OTTONI, M. V.; ASSAD, M.L.R.C.L. ; PACHEPSKY, Ya ; ROTUNNO FILHO, O.C . A hydrophysical database to develop pedotransfer functions for Brazilian soils: challenges and perspectives. In: Wenceslau Teixeira, Marcos Ceddia, Marta Vasconcelos Ottoni, Guilherme Kangussu Donnagema. (Org.). Application of Soil Physics in Environmental Analyses. 1ed.: Springer, v. XXI, p. 467-494, 2014.
2. OTTONI FILHO, T.B. ; OTTONI, M. V. . A preliminary proposal for the structural classification of soil pore space. In: Wenceslau Teixeira, Marcos Bacis Ceddia, Marta Vasconcelos Ottoni, Guilherme Kangussu Donnagema. (Org.). Application of Soil Physics in Environmental Analyses. 1ed.: Springer, v. XXI, p. 191-199, 2014.
3. TEIXEIRA, W.G.; OTTONI, M.V.; ARMINDO, R.A.; MARTINS, A.L.S.; LUMBRERAS, J.F.; SILVA, A.C.; SILVA, M.B.; FERREIRA, R.V.; SHINZATO, E. In: Silva et al (editores). Estimativas e avaliação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada em solos do estado do Maranhão. Guia de campo da XIII. Reunião Brasileira de classificação e correlação de solos: RCC do Maranhão. Brasília-DF: Embrapa, 2020. Cap. 15, p. 412 – 440.

Livros publicados/organizados ou edições

1. TEIXEIRA, W.G. (Org.) ; CEDDIA, M.B (Org.) ; OTTONI, M. V. (Org.) ; DONNAGEMA, G.K. (Org.) . Application of Soil Physics in Environmental Analysis: Measuring, Modeling and Data Integration. 1. ed. Springer, 2014. v. 1. 499p .

Congressos nacionais e internacionais

1. OTTONI, MARTA VASCONCELOS. Proposal of a soil classification system based on volume distribution in pore space?. In: 5th Brazilian Soil Physics Meeting, 2019, Lavras. PROCEEDING OF THE 5TH BSPM, 2019.
2. OTTONI, MARTA VASCONCELOS Gardner dual model and its modification to calculate the hydraulic conductivity curve. In: 5th Brazilian Soil Physics Meeting, 2019, Lavras. Proceedings of the 5th BSPM, 2019.
3. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; ASSAD, M.L.R.C.L. ; ROTUNNO FILHO, O.C . SOIL CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON PORE SPACE STRUCTURE. In: 21st World Congress of Soil Science, 2018, Rio de Janeiro. -, 2018.
4. OTTONI FILHO, T.B. ; ALVAREZ, M. G. L. ; OTTONI, M. V. ; AMORIM, A. B. B. D. . THE GARDNER DUAL MODEL: AN EXTENSION OF THE EXPONENTIAL GARDNER EQUATION TO CALCULATE THE RELATIVE HYDRAULIC CONDUCTIVITY CURVE. In: 21st World Congress of Soil Science, 2018, Rio de Janeiro. -, 2018.
5. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; ROTUNNO FILHO, O.C . Soil pore space-structural classification system (SPSCS). In: 4th Brazilian Soil Physics Meeting, 2017, Piracicaba. -, 2017.
6. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; SCHAAP, M. G. ; ASSAD, M.L.R.C.L. ; ROTUNNO FILHO, O.C . Banco de dados hidrofísicos de solos brasileiros (HYBRAS). In: XXXvi Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2017, Belém. -, 2017.
7. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; ROTUNNO FILHO, O.C ; ASSAD, M.L.R.C.L. How well temperate soils - developed Pedotransfer Functions predict water retention for weathered Brazilian soils? In: Austin International Conference On Soil Modeling, 2016, Austin, Texas, EUA, 2016.
8. SILVA, A. C. ; ARMINDO, R. A. ; BRITO, A. S. ; OTTONI, M. V. ; SILVA, E. T. . Análise de três critérios de parametrização do modelo de van_Genuchten para predição de dados experimentais de retenção de água em um Latossolo Vermelho Amarelo. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal. -, 2015.
9. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; van GENUCHTEN, M.Th ; ROTUNNO FILHO, O.C . Evaluation of different parameterizations for the Van Genuchten soil water retention function. In: Third Brazilian Soil Physics Meeting, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2015.
10. OTTONI FILHO, T.B.; OTTONI, M. V.; LIN, H. ; ROTUNNO FILHO, O.C . A Structural Classification System of the Soil Pore Space. In: Third Brazilian Soil Physics Meeting, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2015.
11. OTTONI, M. V.; ASSAD, M.L.R.C.L. ; ROTUNNO FILHO, O.C . Hydrophysical Database for Brazilian Soils: challenges and perspectives. In: 20th World Congress of Soil Science, 2014, Jeju, Korea. 20WCSS Proceedings, 2014.
12. OTTONI FILHO, T.B. ; OTTONI, M. V. ; PACHEPSKY, Ya ; ROTUNNO FILHO, O.C . A structural classification of soil pore space: a proposal. In: ASA, CSSA, & SSSA - International Annual Meetings, 2014, Long Beach, California, 2014.

13. OTTONI, M. V.; van GENUCHTEN, M.Th ; ASSAD, M.L.R.C.L. ; MONTEIRO, A. E. G. C. . Evaluation of the performance of the van Genuchten equation using a large database on soil water retention of tropical soils in Brazil. In: AGU Fall Meeting, 2014, Sao Francisco, California, 2014.
14. OTTONI, M.V. & OTTONI FILHO, T.B.. Avaliação da curva de retenção de umidade considerando a equação de van Genuchten e umidades residuais negativas. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia/MG, 2011;
15. OTTONI FILHO, T.B., OTTONI, M.V. & ALVAREZ, M.G.L.. Proposta de classificação estrutural dos vazios do solo. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia/MG, 2011;
16. OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T.B. ; OLIVEIRA, M.B. ; MACEDO, J.R. . Physico-hydric mapping of the soils of the Santa Maria and Cambiocó Basin, Rio de Janeiro State. In: 19th World Congress of Soil Science, 2010, Brisbane. Soil Solutions for a changing world, 2010.
17. OTTONI FILHO, T.B. ; OTTONI, M. V. . A variation of the Field Capacity (FC) definition and a FC database for Brazilian soils. In: 19th World Congress of Soil Science, 2010, Brisbane. Soil solution for a changing world. -: Gilkes RJ, Prakongkep N, editors, 2010.
18. OTTONI, M. V.. Avaliação do ajuste da curva de retenção de água dos solos a partir de três umidades representativas. In: XVIII Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos, Campo Grande. 2009.

6.2. Oportunidades e Treinamentos

Um dos principais focos do projeto é a constante capacitação da sua equipe através de cursos internos e externos a CPRM, visitas técnicas, bem como a disseminação do conhecimento adquirido através da oferta de palestras e treinamentos para apoiar outros projetos da CPRM e instituições. A seguir encontram-se relacionados alguns desses cursos, visitas e treinamentos.

6.2.1. Curso de Formação e Caracterização de Solos (2010)

Entre os dias 20 e 23 de julho de 2010 a CPRM promoveu o curso “Formação e Caracterização de Solos” ministrado pela Professora da UFRRJ Lucia Anjos (Foto 1). Foram três dias de aulas teóricas, no Escritório do Rio de Janeiro, e um dia de aula prática em campo, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Participaram da capacitação técnicos do Dehid, pesquisadores e estagiários do departamento de Gestão Territorial da CPRM (Deget) e estudantes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).



Figuras 3 – Foto do grupo de participantes do curso de Formação e Caracterização de Solos.

6.2.2. Curso de Hidrologia de Solos (2011)

O curso Princípios Básicos em Hidrologia do Solo foi realizado entre os dias 6 e 9 de dezembro de 2011, na Casa Brasil, no escritório do Rio de Janeiro, e ministrado pelo professor Durval Dourado Netto, da Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo (USP). O curso contou com 28 participantes, incluindo técnicos da CPRM e de outras instituições como Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Embrapa Solos e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).



Figuras 4 – Foto do grupo de participantes do curso de Hidrologia de Solos.

6.2.3. Minicurso de Solos aplicado à Hidrologia (2019)

Entre os dias 13 a 16 de novembro de 2019, na SUREG-BH, ocorreu o minicurso de Solos aplicado à Hidrologia, envolvendo diversos temas das geociências, incluindo noções básicas da Pedologia, Geologia, Geomorfologia e Hidrologia de Solos. O encontro contou com a participação dos integrantes do projeto “Estudos para a implementação da gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas na Bacia Hidrográfica do São Francisco: Sub-Bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha”, objeto da Cooperação Técnica celebrada entre a CPRM e a Agência Nacional de Águas (ANA), além de alunos de pós-graduação de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e profissionais da Agência Nacional de Águas. Os três primeiros dias foram reservados para aulas teóricas. No quarto dia, último dia do encontro, os alunos tiveram a oportunidade de exercitar os conhecimentos adquiridos em sala de aula por meio de visitas no campo a aproximadamente seis perfis de solos próximos a cidade de Sete Lagos/MG. Nessa visita técnica ocorreram calorosas discussões das características morfológicas, físicas e hidrológicas dos perfis de solo, dando também enfoque ao seu material de origem e ambiente de inserção.



Figuras 5 – Foto do grupo de participantes do Minicurso de Solos aplicado à Hidrologia.

6.3. Participação em bancas de conclusão de final de curso, mestrado e doutorado

Defesa de projeto final de curso

Curso: Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Título: Capacidade de campo em solos brasileiros
Aluno: Anderson Rodrigues Caetano
Ano: 2020

Qualificação de Doutorado

Curso: Programa de Pós-Graduação em Ciências - Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente
Título: Otimização da determinação das propriedades hidráulicas do solo por experimento de evaporação
Aluno: Leonardo Inforsato
Ano: 2020

Defesa de tese de doutorado

Curso: Programa de pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná

Título: An Improvement of Splintex: A pedotransfer model to estimate soil hydraulic functions.

Aluno: Alessandra Calegari da Silva

Ano: 2019

6.4. Revisão de artigos científicos

Durante esses nove anos de projeto, a equipe foi convidada para realizar revisão técnica de diversos manuscritos de renomados jornais de pesquisa nacionais e internacionais, o que permitiu maior aproximação da comunidade científica de ciência do solo e conhecimento dos diferentes e recentes trabalhos de pesquisa realizados na área. São eles:

2011

-
1. Dinâmica do lençol freático em solos sulfatados ácidos e sua implicação com o uso agrícola (CNPS/EMBRAPA)

2018

-
1. Atributos físico-hídricos na camada superficial de solos em diferentes posições na paisagem e sistemas de colheita de cana-de-açúcar em Coruripe-AL. (CNPS-EMBRAPA)

2019

-
1. Equações de chuvas intensas para o estado do Rio Grande do Sul com base em desagregação de dados diários (XXIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos)
 2. Pedotransfer functions for water contents at specific pressure heads of silty soils from Amazon rainforest (Geoderma)
 3. Multiple imputation to fill in missing data in soil physical-hydric properties database (Revista Brasileira de Ciência do Solo)
 4. Software used for fitting van Genuchten parameters can yield different soil hydraulic functions (Soil Tillage)
 5. Estimation of Soil Hydraulic Properties from Infiltrometer experiment and Pedotransfer Function (Vadose Zone Journal)

2020

-
1. A new soil water retention model based on logarithmic arctangent function (JOURNAL OF HYDROLOGY);
 2. Fractal parameters and triplet configurations in soil saturated hydraulic conductivity pedotransfer functions (EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE);
 3. Funções de pedotransferência para estimativa de atributos físico-hídricos de solos no estado do piauí (ENGENHARIA AGRÍCOLA)
 4. Retenção de água em amostras de solos da XIII RCC, estado do Maranhão (CNPS/EMBRAPA)
 5. Development of pedotransfer functions for tropical mountains soils: spotlight on parameter tuning in machine learning (SOIL)
 6. An estimation of the soil hydraulic conductivity curve measured with instantaneous profile method (SOIL TILLAGE)
 7. Selecting Published Pedotransfer Functions for Predicting Saturated Hydraulic Conductivity According to the Available Soil Inputs (SOIL RESEARCH).

6.5. Organização de eventos

O projeto também tem o enfoque de dar suporte a organização de encontros técnicos-científicos voltados a temática da relação água e solos, buscando maior integração com estudantes e pesquisadores da área. Abaixo são descritos os eventos já realizados.

Brazilian Soil Physics Meeting

O Encontro Brasileiro de Física de Solo (Brazilian Soil Physics Meeting) é um evento internacional que ocorre a cada dois anos e que reúne estudantes de pós-graduação e profissionais que atuam na área de física e hidrologia de solos. Esse encontro tem como principal desafio permitir o intercâmbio de experiência entre pós-graduandos e profissionais renomados na área de solos.

Desde a segunda edição desse evento, este ocorrido na CPRM em 2013, a CPRM tem prestado apoio ao encontro, seja na sua organização e/ou financiamento. Essa participação da CPRM abriu oportunidades de trabalhos em parceria, como já tem ocorrido nesses últimos anos entre o departamento de Hidrologia da CPRM, o CENA/USP, UFLA e Embrapa Campinas, seja por meio de desenvolvimento de artigos científicos e trabalhos técnicos em conjunto, como em orientações de teses e dissertações. A quinta e última edição do evento foi realizada em 2019 pela Universidade Federal de Lavras.



<p>2011 – PIRACICABA – ESALQ/USP</p>	<p>2013 – RIO DE JANEIRO – CPRM</p>
	
<p>2015 – PARANÁ – UFPR</p>	<p>2017 – PIRACICABA – CENA/USP</p>



Figura 6 – Fotos das cinco edições do Encontro Brasileiro de Física do Solo.

Capacidade de Campo: Fundamentos, Métodos e Aplicações

O evento Capacidade de Campo: Fundamentos, Métodos e Aplicações (Figura 7) foi realizado no dia 21 de julho de 2020 e contou com a participação de quatro palestrantes (USP, UFLA, UFRJ e CPRM) e 100 inscritos. Este evento foi promovido pela Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, por meio da sua Divisão 2 – Propriedades do Solo e Processos, sendo organizado pela CPRM e Embrapa. O tema tratado no evento é um assunto que tem uma importância prática em diversos estudos, seja os voltados para projetos de irrigação e drenagem, de modelagem hidrológica, de recarga de água subterrânea, mas que apresenta uma ampla discussão e controvérsia sobre sua metodologia de determinação, levando, inclusive a capacidade de campo ser chamada de Mickey Mouse por alguns no 3º Encontro Brasileiro de Física de solos, em 2015, fazendo alusão ao ato julgado fantasioso da sua determinação. O evento buscou discutir essas controvérsias.



Figura 7 – Chamada do evento Capacidade de Campo: Fundamentos, Métodos e Aplicações.

Café Geológico – CPRM

No ano de 2020 foram promovidos diversos encontros *online* sobre temas em geociências e, em outubro, a equipe do projeto foi convidada para apresentar sua visão sobre a temática de hidropedologia. O tema do evento foi “Inquietações hidrológicas motivadas pela pedologia” e foi ministrada pela pesquisadora Marta Vasconcelos Ottoni. Contou com a participação de diversos participantes, incluindo instituições como CPRM, Embrapa e UFRJ. A proposta da palestra foi realizar um histórico de algumas inquietações hidrológicas experimentadas pela pesquisadora durante sua jornada no aprendizado pedológico e apresentar alguns estudos de casos e projetos de linhas futuras de pesquisa em temas que envolvem a interação entre a hidrologia, pedologia e outras áreas do saber geocientífico. A ideia foi motivar a busca de uma visão mais holística envolvendo a área hídrica.



Figura 8 – Chamada do evento Inquietações hidrológicas motivadas pela pedologia

6.6. Metodologias Propostas

Apesar do projeto ainda não deter de uma bacia experimental para desenvolvimento de estudos de pesquisa nas suas linhas temáticas, ele teve início com a proposição de algumas metodologias de estudos em hidropedologia que permitirão dar sustentação para o desenvolvimento de novas etapas de trabalho do projeto. Desse conjunto cabe destacar as seguintes já desenvolvidas:

6.6.1. Sistema de classificação físico-hídrica dos solos

O sistema de classificação físico-hídrica (SCFH) dos solos, proposto originalmente por Ottoni Filho (2003), classifica os perfis de solo segundo sua capacidade de aeração e hidratação, a partir de testes *in situ* de capacidade de campo e infiltração, agregando sistematicamente essas informações à classificação pedológica de solos. Com estes dados, duas classificações são propostas para um determinado solo: i) “Classificação de Superfície”, que avalia os atributos físico-hídricos para a profundidade máxima do perfil de 30 cm; ii) “Classificação Padrão”, que avalia os atributos físico-hídricos para a profundidade máxima do perfil de 70cm. Neste projeto, este sistema será para ampliado para incorporar um procedimento sistemático para classificar as unidades de mapeamento pedológico também quanto às características físico-hídricas. Assim, o mapa pedológico teria seu potencial de uso ampliado, se a esse fossem agregadas tais características. A metodologia de mapeamento físico-hídrico dos solos, baseada nas unidades de mapeamento pedológico, já foi testada em três bacias hidrográficas fluminenses (ex: Figuras 9 e 10), mostrando-se satisfatória e vantajosa ao entendimento das características hidráulicas dos diferentes solos estudados.

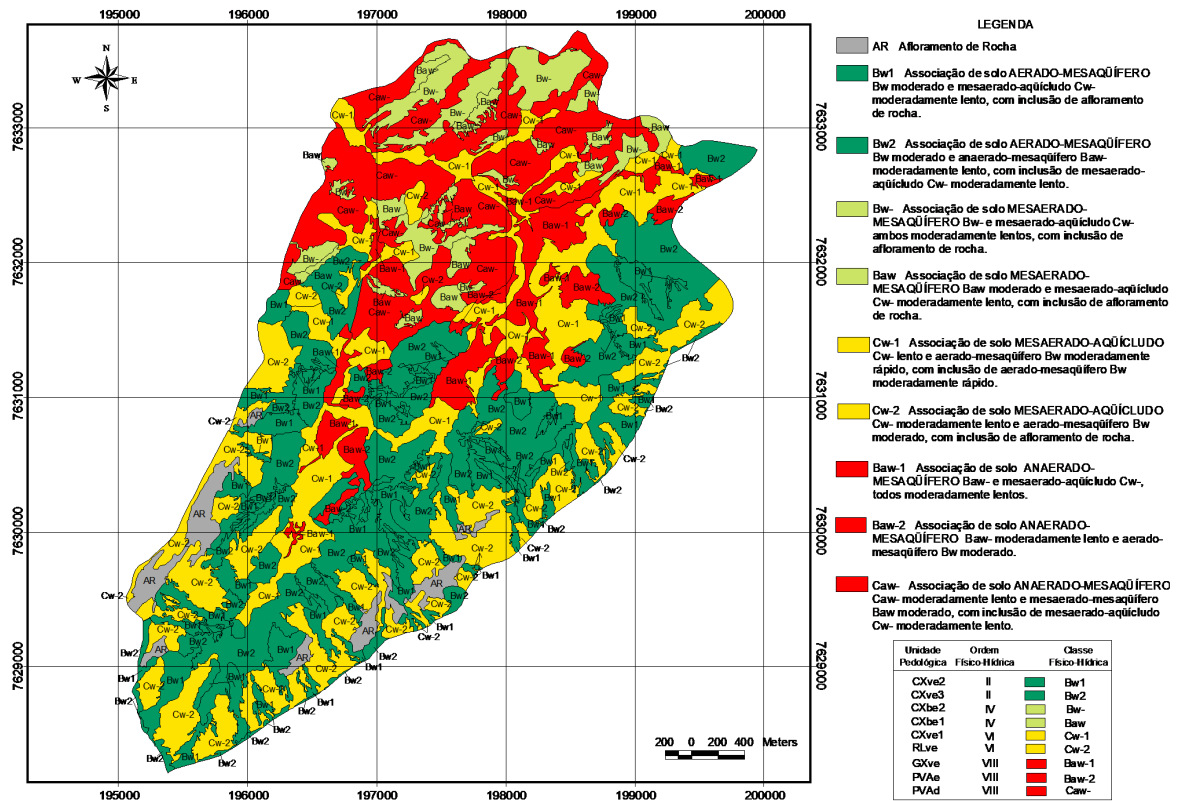


Figura 9. Mapa Físico-Hídrico de Superfície da bacia de Santa Maria e Cambiocó – Município de São José de Ubá/RJ.

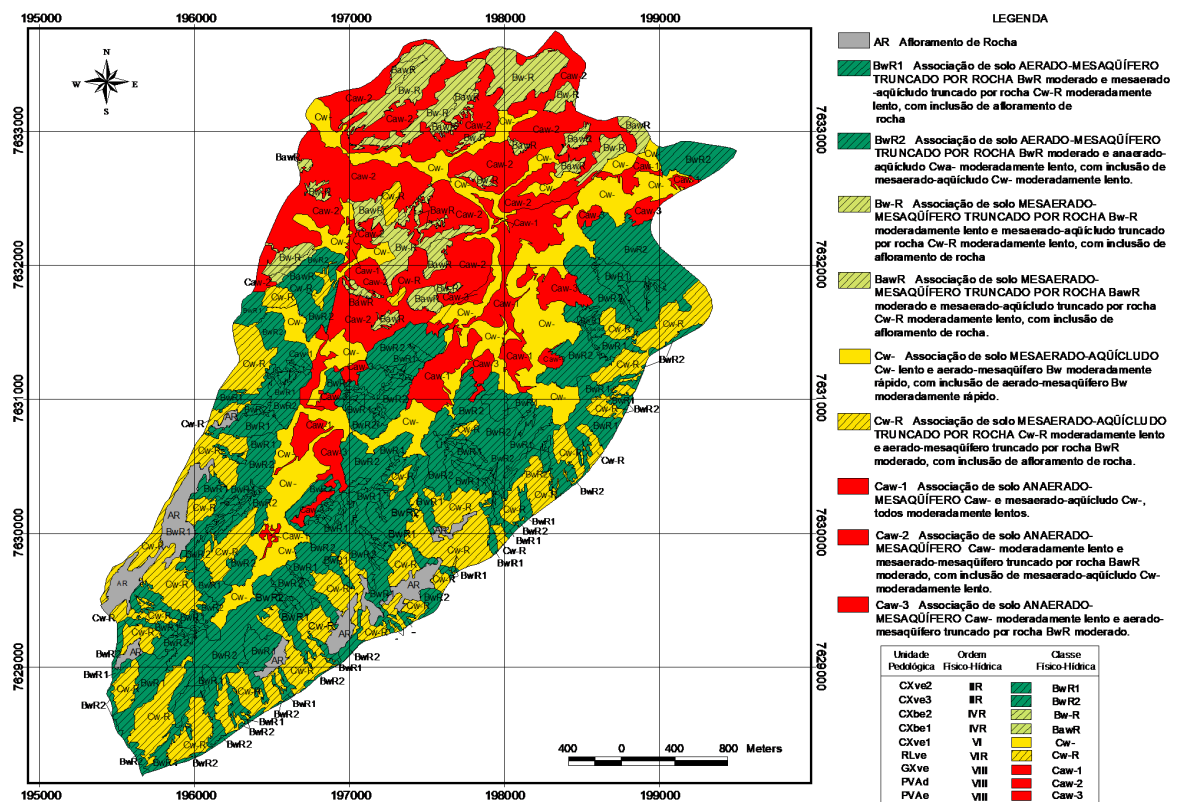


Figura 10. Mapa Físico-Hídrico Padrão da bacia de Santa Maria e Cambiocó – Município de São José de Ubá/RJ.

6.6.2. Sistema de Classificação da Estrutura dos Espaços Vazios do Solo

O sistema de classificação dos solos denominado SPSCS (*Soil Pore space-Structural Classification System*) é baseado na estrutura do espaço poroso e tem como base a curva de retenção de água no solo. O SPSCS foi fundamentado no sistema de classificação textural, sendo concebido um triângulo estrutural equivalente ao textural. Nove Ordens e quatro Subordens foram sugeridas, originando 36 Famílias estruturais que agrupam solos com curvas de disponibilidade de ar (Aa) semelhantes. Entende-se Aa como o complemento da curva de retenção em relação ao conteúdo de água na saturação. A metodologia de classificação levou em consideração uma parametrização da equação de van Genuchten para Aa. No contexto do SPSCS, revelou-se, via de regra, um claro padrão de similaridade entre as curvas Aa dentro das Famílias. O sistema foi implementado com sucesso a uma numerosa e diversa base de dados de solos compilada no estudo, sendo todas as Ordens e a maioria das Famílias representadas. A partir de um estudo de relações entre o sistema e características dos solos da base de dados, concluiu-se que o SPSCS se mostrou apto para identificar solos estruturalmente distintos ou semelhantes, em classes pedológicas e texturais análogas ou não. É o caso, dentre outros avaliados, de Ferralsols argilosos que se agruparam nas mesmas Famílias estruturais de solos arenosos. Conclui-se que o SPSCS é ferramenta promissora em estudos hidropedológicos e no desenvolvimento de pedofunções de propriedades hidráulicas.

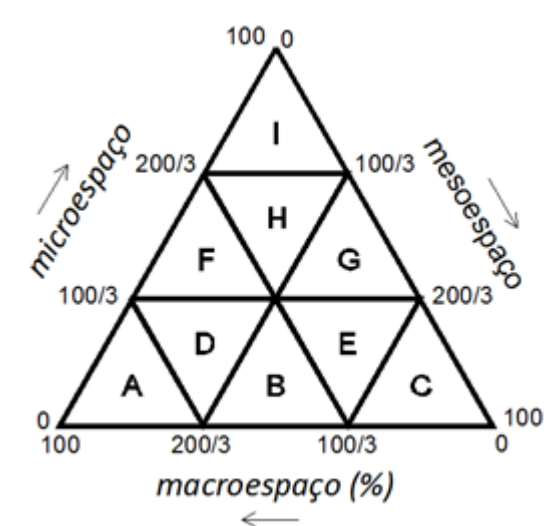


Figura 11 – Triângulo de classificação da estrutura dos espaços vazios do solo.

6.6.3. Banco de Dados Físico-Hídrico em Solos Brasileiros

O banco de dados hidrofísico de solos no Brasil (HYBRAS) (Figura X) é uma iniciativa da CPRM, com o suporte da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O projeto HYBRAS se desenvolveu entre 2011 a 2015, contando com a colaboração de pesquisadores nacionais e internacionais.

O HYBRAS 1.0 (versão 1) buscou consolidar os dados de retenção de água e condutividade hidráulica saturada (ksat), associados aos atributos básicos de solo e métodos de determinação dessas propriedades. A inclusão de medições de condutividade hidráulica não saturada está prevista para uma versão futura. O acesso ao HYBRAS é pelo link <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Pesquisa-e-Inovacao/HYBRAS-4930.html>.

Essa versão do HYBRAS comporta aproximadamente 16 megabytes de dados com 445 locais (ou perfis) amostrados e correspondentes 1.075 amostras de solos, muitas das quais georreferenciadas (813 amostras), representando 15 estados brasileiros das 26 unidades federativas existentes e 11 grupos de solos de acordo com o World Reference Base for Soil Resources - WRB (WRB, 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports, N.º 106, FAO, Rome).



Figura 12 – Logotipo da base de dados físico-hídricos em solos brasileiros.



Figura 13 – Distribuição dos locais de amostragem do HYBRAS com dados selecionados de retenção de água no Brasil (1,075 amostras)

6.7. Articulação Institucional

Um dos pilares do projeto é a integração interinstitucional, principalmente, através da participação em projetos de pesquisas fomentados por órgão públicos. Abaixo, segue uma lista desses projetos desenvolvidos em ordem cronológica:

TED N° 02/2017/ANA- Estudos Hidrogeológicos das Regiões Urbana e Periurbana de Manaus/AM – subsídios para o uso sustentável dos recursos hídricos.

Neste trabalho a equipe de hidropedologia da CPRM esteve envolvida na realização dos testes de infiltração por meio de infiltrômetro de Guelph e extração de amostras para determinação de atributos físico-químicos e de propriedades hidráulicas do solo nos mesmos locais onde foram efetuados os estudos de levantamento pedológico na área. Desse trabalho foram gerados mapas de classes de infiltração nos solos do Município de Manaus/AM nas profundidades de 10 cm e 50 cm.



Figura 14 – Fotos dos testes de infiltração nos solos de Manaus/AM.

TED ANA/CPRM 2018 – Estudos para a Implementação da Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do São Francisco: Sub-Bacias dos Rios Verde Grande e Carinhanha

A proposta deste estudo, no contexto hidropedológico, é o desenvolvimento de mapas de propriedades hidráulicas dos solos de três bacias hidrográficas da região do São Francisco (Vieira, MG; Jaiba/Salobro, MG e Caririnha, BA, MG) com o propósito de atender às demandas da modelagem hidrológica por informações de solos. Neste sentido, estão sendo realizadas diversas campanhas de campo para levantamento de amostras deformadas e indeformadas para a determinação de atributos físico-químicos e de dados de retenção de água e condutividade de hidráulica dos solos. Essas informações serão espacializadas nessas áreas por meio da aplicação de funções de pedotransferência de propriedades hidráulicas em mapas interpolados de índices geomorfométricos obtidos por manipulação de modelos digitais de terrenos. Este trabalho está sendo uma oportunidade ímpar de treinamento da equipe de hidropedologia da CPRM visando o conhecimento e a aplicação de novas metodologia para representação das propriedades hidráulicas na escala regional de bacias hidrográficas e, em especial, a investigação dos efeitos dessas propriedades na geração dos componentes hidrológicos em estudos de modelagem.



Figura 15 – Fotos nos trabalhos de campo na bacia do rio Vieira, MG no contexto do projeto “Estudos para a Implementação da Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do São Francisco”.

7. EXPECTATIVAS FUTURAS

Este projeto tem um enorme potencial para trazer luz às zonas ainda obscuras do conhecimento da hidrologia, que, ao nosso ver, estão relacionadas ao entendimento e caracterização dos processos que se dão nas zonas subsuperficiais dos terrenos, e também como as águas superficiais e subsuperficiais se relacionam nas diferentes paisagens e escalas espaciais. Isso somente será possível se forem implementadas bacias experimentais, onde não apenas sejam instaladas as tradicionais redes de monitoramento hidrometeorológicas, mas outras que realizem a investigação da variação do armazenamento de água nos solos e materiais porosos subjacentes, incluindo os caminhos preferenciais de água, para diferentes tipologias de terrenos e eventos de chuva. Paralelamente a esse trabalho, é um desafio do projeto o desenvolvimento das chamadas pedofunções de propriedades hidráulicas para o território nacional a partir da base de dados HYBRAS, e em especial, a incrementação dessa base de dados de solo com novas informações e sua divulgação no sistema WEB para permitir não apenas o amplo acesso aos dados, mas especialmente o *upload* de novas informações por usuários que queiram contribuir com a iniciativa. Uma expectativa do projeto também diz respeito à criação de uma rede de profissionais brasileiros que tenham conhecimento técnico e experiência em hidropedologia, visando a efetivação de projetos de modelagem hidrológica integrada (superficial e subsuperficial), permitindo com isso chegar-se mais facilmente a resultados que apoiem os tomadores de decisões estratégicas para o país na temática de recursos hídricos.

8. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

ALVARENGA, C.C., 2010. Indicadores hidrológicos do solo para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea. Lavras: UFLA. 81p. (Dissertação).

BRITO, F.S., 2004. Classificação físico-hídrica dos solos da sub-bacia Córrego da Cachoeira no município de Paty do Alferes – RJ. Dissertação de mestrado. UFRRJ, Seropédica.

DA SILVA, F.H.B.B., 2000. Métodos de determinação do escoamento superficial de Bacias Hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos. Documentos nº21. Embrapa.

LEAL, I.F., 2011. Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

LIN, H., 2012. Hydropedology: Addressing fundamental and building bridges to understand complex pedologic and hydrologic interactions. In: Hydropedology, ed by H. Lin. Elsevier. Pages 3- 39.

MELLO, C.R. DE E CURI, N., 2012. Hydropedology. Ciênc. Agrotec., Lavras, v.36, n.2, p. 137-146.

MENEZES, M.D., 2011. Levantamento pedológico de hortos florestais e mapeamento digital de atributos físicos do solo para estudos hidrológicos. Lavras: UFLA. 224p. (Tese).

OTTONI, M.V., 2005. Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo in situ a partir de testes de infiltração. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

OTTONI FILHO, T.B., 2003. Uma Classificação Físico-hídrica dos Solos. Rev. Bras. de Ciência do Solo, v. 27, p. 211-222.