



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA TURFA
EXISTENTE NA REGIÃO DO BANHADO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS COM
VISTAS AO AUXÍLIO NA IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE QUEIMA
ESPONTÂNEA DESSE MATERIAL**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Betina de Jesus Guedes (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: betinaguedes.bg@gmail.com

Laura De Simone Borma (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: laura.borma@inpe.br

Letícia d'Agosto Miguel Fonseca (Aluna de pós-graduação INPE)
E-mail: leticia.fonseca@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Flávio de Carvalho Magina (ELAT/CCST/INPE)

Julho de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à instituição de fomento PIBIC/CNPq por tornar a execução desse projeto de Iniciação Científica possível. Agradeço ao Dr. Flávio de Carvalho Magina que me concedeu dados meteorológicos essenciais para o desenvolvimento dessa pesquisa. E por fim, agradeço também à minha orientadora Dra. Laura De Simone Borma que, através de sua orientação e disponibilização de dados de umidade do solo, tornou a execução e conclusão dessa pesquisa possível.

RESUMO

Inicialmente, o projeto submetido tratava da análise de umidade das turfas que ocorrem às margens do rio Paraíba do Sul, em São José dos Campos. Porém, para realização de tal atividade seria necessária análise das amostras de turfa coletadas *in situ*, nos laboratórios do INPE, na unidade de Cachoeira Paulista. Isso porque, além da umidade do solo, estavam previstos ensaios para determinação do teor de matéria orgânica em mufla, bem como do poder calorífico da turfa e consequente emissão de particulados. Devido às dificuldades logísticas de locomoção de São José dos Campos a Cachoeira Paulista – e permanência no local – o projeto inicial foi alterado, contudo não foi desviado do seu escopo principal que era a análise de dados de umidade do solo *in situ*.

O presente projeto trata da análise da umidade volumétrica do solo com sensores do tipo Sentek-Enviroscan, coletados ao longo de um perfil de solo localizado na unidade do INPE de São José dos Campos. Os valores de umidade foram obtidos nas profundidades de 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm e 190 cm, durante o período compreendido entre novembro de 2014 e maio de 2017.

O objetivo foi avaliar a variação temporal da umidade do solo, em profundidade, em função i) da variação dos índices pluviométricos na área de estudo, e ii) das propriedades do solo na área estudo. Para tanto, foram utilizados dados de precipitação coletados pela Rede de Estações Meteorológicas Automáticas – INPE/CCST/ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica – (coleta e validação dos dados realizada por Flávio de Carvalho Magina, Dr.) no período de novembro de 2014 a maio de 2017.

Os resultados mostram que as camadas superficiais do solo (sensores localizados a 10 cm, 20 cm e 40 cm de profundidade) apresentam maior amplitude dos dados quando comparados com as camadas mais profundas (60 cm, 90 cm e 190 cm). Na superfície, os maiores valores de umidade (respectivamente, 31%, 31% e 30% para as camadas de 10 cm, 20 cm e 40 cm) foram observados no auge do período chuvoso (jan/17). Os menores valores (respectivamente 15%, 18% e 15%) foram observados no auge do período seco (set/16).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Sonda de Nêutrons.....	3
Figura 1.2 – Sensores TDR convencionais.....	3
Figura 1.3 – Sensores TDR não-convencionais.....	4
Figura 3.1 – Localização do INPE no Estado de São Paulo.....	5
Figura 3.2 – Demarcação da área na qual o INPE está localizado	5
Figura 3.3 – Localização do sensor Sentek-EnviroSCAN dentro do INPE	6
Figura 3.4 – Localização da estação meteorológica dentro do INPE	6
Figura 3.5 – Distância entre a estação meteorológica e o sensor de umidade.....	6
Figura 3.6 – Sensor Sentek-EnviroSCAN localizado no INPE.....	7
Figura 3.7 – Estação meteorológica localizada no INPE.....	8
Figura 3.8 – Pluviômetro do tipo radar Doppler.....	9
Figura 4.1 – Valores da precipitação média mensal da normal climatológica	10
Figura 4.2 – Precipitação mensal acumulada desde nov/2014 a mai/2017	11
Figura 4.3 – Umidade diária desde nov/2014 a mai/2017	13
Figura 4.4 – Perfil vertical de umidade	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Meses cuja precipitação se encontrou abaixo da média histórica.....	11
Tabela 4.2 – Classificação do solo segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo....	13
Tabela 4.3 – Análise química do solo segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.....	15

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CCST – Centro de Ciência do Sistema Terrestre
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica
FDR – Refletômetro no Domínio da Frequência
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
TDR – Refletômetro no Domínio do Tempo
TFSA – Terra Fina Seca ao Ar TFSA
 w – Conteúdo gravimétrico [1]
 M_w – Massa de água [g]
 M_s – Massa de solo seco [g]
 θ – Conteúdo volumétrico [1]
 V_w – Volume de água [cm³]
 V_t – Volume total [cm³]
 t – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
 V – Índice de Saturação por Bases
ISNa – Índice de Saturação por Sódio
P-rem – Fósforo Remanescente
SB – Soma de Bases Trocáveis
 T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
 m – Índice de Saturação por Alumínio
MO – Matéria Orgânica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3.1. ÁREA DE ESTUDO	5
3.2. MÉTODOS	7
3.2.1. Medidas da umidade do solo	7
3.2.2. Medidas da precipitação	8
3.2.3. Caracterização do solo na área de estudo	9
3.2.3.1. Análise física.....	9
3.2.3.2. Análise química.....	10
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	10
4.1. PRECIPITAÇÃO.....	10
4.2. UMIDADE DO SOLO – MÉDIAS DIÁRIAS.....	12
4.3. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO COM A PROFUNDIDADE – MÉDIAS MENSAIS.....	14
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	17
4.4.1. Análise física.....	17
4.4.1. Análise química.....	18
5. CONCLUSÕES.....	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

O solo é um meio poroso cuja fração sólida é praticamente constante e os espaços entre elas, denominados de poros, são ocupados por ar e água em diferentes proporções. A composição física e química do solo determina as características geométricas dos poros. Os poros são locais aonde a água e o ar se movimentam ou são retidos (Reichardt & Timm, 2004).

A porosidade irá influenciar de forma direta no movimento da água no solo, determinando a capacidade de armazenamento dela nesse solo. Através das relações de massa e volume de cada fase do solo, é possível determinar uma série de valores que caracterizam a densidade, porosidade e conteúdo de água no solo (Pruski, 2006).

Em relação ao conteúdo de água no solo, existem dois tipos: conteúdo gravimétrico e conteúdo volumétrico. O conteúdo gravimétrico é uma medida da relação entre as massas de água (M_w , g) e do solo seco (M_s , g), dada por:

$$w = \frac{M_w}{M_s} \quad (1.1)$$

O conteúdo volumétrico é uma medida da relação entre os volumes de água (V_w , cm³) e total (V_t , cm³) do solo, dada por:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \quad (1.2)$$

A umidade do solo é de extrema importância para diversos processos que ocorrem no sistema terrestre. Por exemplo, é uma variável chave para o desenvolvimento de uma planta, uma vez que ela possibilita a absorção de água e dos nutrientes necessários para os seus processos metabólicos. É também uma variável chave para o clima, pois é através da evapotranspiração (evaporação da água do solo e transpiração das plantas) que é fornecida a umidade para a atmosfera e por consequência, levando aos processos de formação de chuva, diminuição da temperatura e assim por diante (Seneviratne, 2010). Por fim, a umidade do solo é importante para os processos hidrológicos, uma vez que ela exerce

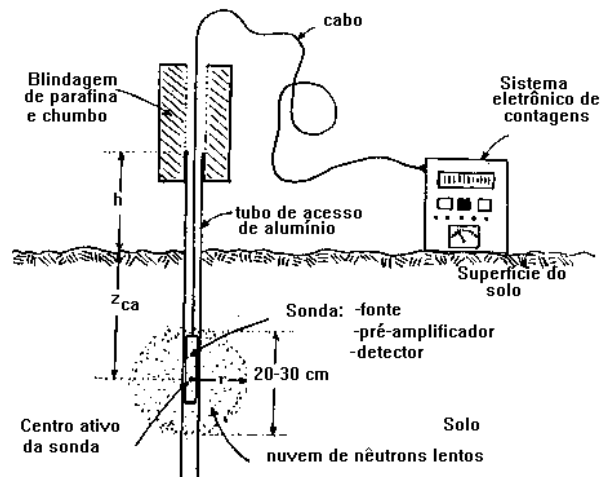
influência sobre a quantidade de água infiltrada no solo e naquela que irá escoar superficialmente após um evento de chuva (Seneviratne, 2010).

A água que se infiltra no solo tende a ficar retida nos seus poros. Parte dessa água fica disponível para as plantas e a porção de água que é percolada para horizontes mais profundos é apenas o excedente, após a ultrapassagem da capacidade de armazenamento do solo nas camadas superiores.

A determinação da umidade do solo pode ser realizada através de métodos diretos ou indiretos. Dentre os métodos diretos, o de maior utilização é o gravimétrico, que consiste em coletar amostras de solo e através de pesagens – do solo *in natura* e do solo após a sua secagem em estufa – possibilitam relacionar as diferenças de peso, determinando-se a quantidade de água que inicialmente estava contida no solo. A partir do valor da massa de água e da massa de sólidos, obtém-se os valores de umidade.

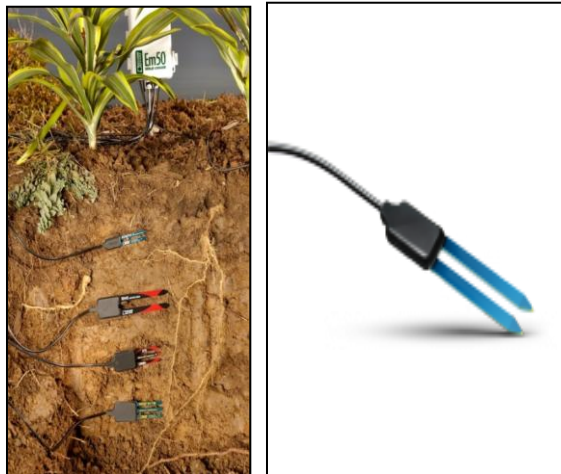
Quanto aos métodos indiretos, esses contam com o auxílio de sensores – p.e. sonda de nêutrons, Refletômetro no Domínio da Frequência (FDR) e Refletômetro no Domínio do Tempo (TDR) – que inferem, de forma indireta, a quantidade de íons hidrogênio no solo. A sonda de nêutrons tem seu princípio de funcionamento baseado na emissão de nêutrons rápidos por uma fonte radioativa. Esses nêutrons serão desacelerados pelos átomos de hidrogênio do solo, detectados por um contador e registrados (Teixeira, 2005). As principais limitações desse método são o fato de ser radioativo e não ser recomendado para solos com elevado teor de matéria orgânica. A sonda de nêutrons também não permite o monitoramento contínuo da água no solo, no tempo e no espaço. Como vantagem, conta com o fato de poder ser utilizado em qualquer profundidade (exceto à superfície) e avalia um volume referente a uma esfera de 15 a 30 cm de diâmetro, sem introduzir grande perturbação no solo (natureza não-destrutiva) (Topp et al., 1980).

Figura 1.1. Sonda de Nêutrons



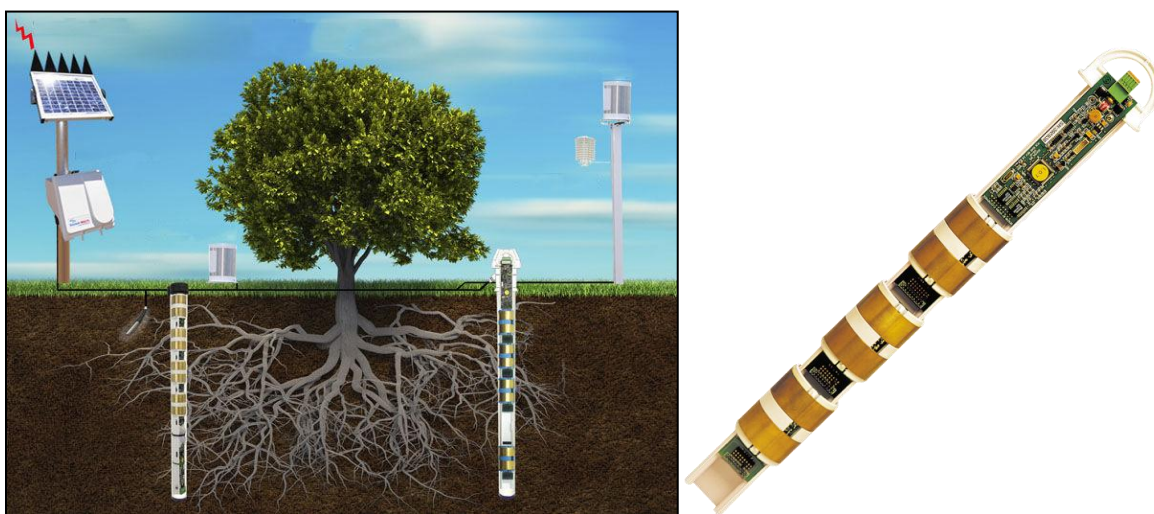
Os sensores TDR convencionais possuem uma técnica baseada na propagação de ondas eletromagnéticas através de hastes condutoras envoltas pelo solo. Este fenômeno se deve à diferença entre as constantes dielétricas (K), da água, do ar e do solo (Noborio, 2001). Tem como vantagem a precisão das medidas, não utilização de radiação ionizante e o monitoramento constante da umidade. Porém, para utilização desse tipo de sensor é necessário abrir uma trincheira no solo e instalar o sensor em cada profundidade que se deseja obter medidas, dificultando o processo para medidas do teor de umidade em grandes profundidades.

Figura 1.2. Sensores TDR convencionais



Por fim, existem os sensores TDR da marca SENTEK/ENVIROSCAN, que são formados por um sensor e uma sonda aonde através de medidas de velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas, é estimada a quantidade de íons hidrogênio presente em uma esfera alguns centímetros de raio localizado em torno do sensor. Por meio de calibração, a quantidade de íons hidrogênio é relacionada com a quantidade de água presente nos poros do solo. Esse método reúne as vantagens dos outros dois métodos apresentados anteriormente, tais como a fácil instalação em diversas profundidades e o monitoramento contínuo da água no solo (Topp et al., 1980).

Figura 1.3. TDR não-convencional (sensor + sonda)



No presente trabalho foram utilizados sensores do tipo Refletômetros no Domínio do Tempo não-convencionais, ou, *Time Domain Reflectometer* (TDR). Esses sensores são da marca Sentek e a sonda que coleta e armazena dados do perfil é conhecida como sonda EnviroSCAN.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivos: i) avaliar o desempenho da sonda Sentek para medidas da umidade do solo em profundidade; ii) avaliar mudanças na umidade do solo, em profundidade, como resposta à variação das chuvas; iii) avaliar o efeito da seca extrema

ocorrida no Estado de São Paulo nos anos de 2014/2015 sobre a umidade do solo em vários níveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido dentro da unidade do INPE – São José dos Campos (SP), na qual se encontra instalado, desde 2014, um perfil de umidade do solo do tipo Sentek-EnviroSCAN nas coordenadas $23^{\circ} 12' 41'' S$ $45^{\circ} 51' 37'' W$, conforme apresentado nas Figuras a seguir. Os dados de precipitação foram obtidos de uma estação meteorológica também localizada no INPE, coordenadas $23^{\circ} 12' 44'' S$ $45^{\circ} 51' 59'' W$.

Figura 3.1. Localização do INPE no Estado de São Paulo

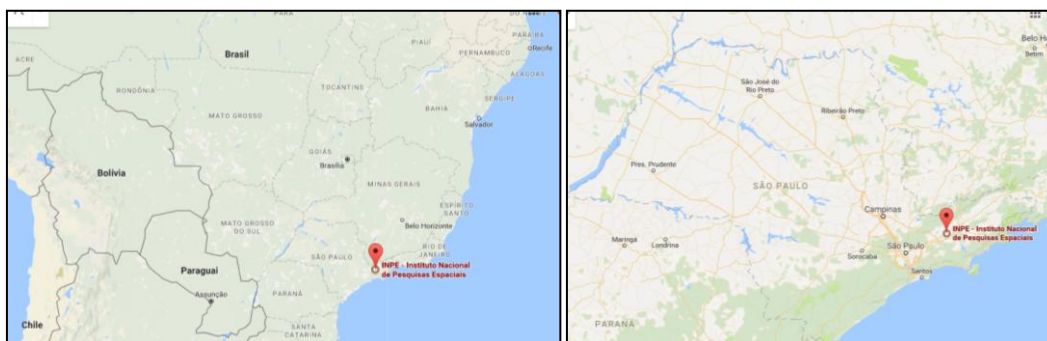


Figura 3.2. Demarcação da área na qual o INPE está localizado

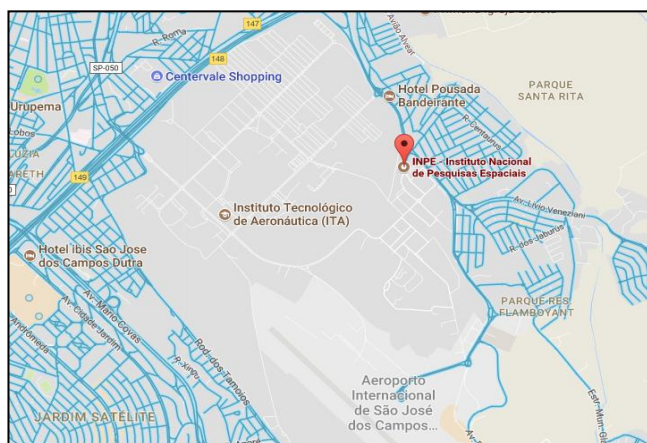


Figura 3.3. Localização do sensor Sentek-EnviroSCAN dentro do INPE

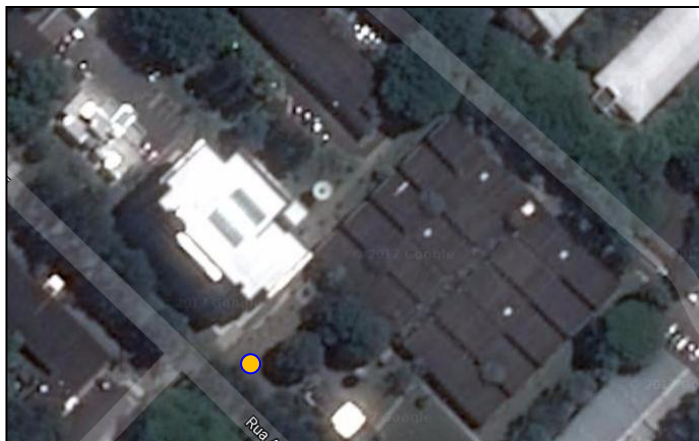


Figura 3.4. Localização da estação meteorológica dentro do INPE



Figura 3.5. Posição da estação meteorológica em relação ao sensor de umidade



3.2. MÉTODOS

3.2.1. Medidas da umidade do solo

As medidas de umidade do solo foram realizadas ao longo de um perfil de solo com 1,90 m de profundidade. Nesse perfil, a umidade volumétrica do solo foi medida por meio de sensores tipo TDR da marca Sentek (conforme apresentado na Figura 1.3), cujos dados são integrados por uma sonda tipo EnvironSCAN, também da marca Sentek (Figura 3.6). A tecnologia da Sentek mede teor de umidade volumétrica do solo com o uso da Tecnologia de Capacitância. A sonda EnviroSCAN é recomendada para pesquisas que exigem o máximo de precisão das medidas de umidade solo em profundidades superiores a 80 cm com o mínimo de distúrbio do solo.

Figura 3.6. Sensor Sentek-EnviroSCAN localizado no INPE



No presente trabalho, os dados de umidade do solo foram armazenados em um Datalogger CR200 da Campbell Scientific. Os dados foram coletados de 30 em 30 minutos no período de 21/11/2014 até 03/05/2017 e o sensor foi programado para obter dados de umidade, nas profundidades de 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm e 190 cm. Após a coleta dos dados, os mesmos foram tratados estatisticamente de forma a se obter médias diárias e mensais da umidade volumétrica do solo, para cada uma das profundidades.

3.2.2. Medidas da precipitação

Os dados de chuva foram coletados por um pluviômetro tipo radar Doppler 24 GHz, modelo WS 600 (estação meteorológica compacta) e marca Lufft, instalado no INPE – São José dos Campos (SP), coordenadas 23° 12' 44" S 45° 51' 59" W, apresentado na Figura 3.7. Esses dados são de propriedade da Rede de Estações Meteorológicas Automáticas – INPE/CCST/ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica – (coleta e validação dos dados realizada por Flávio de Carvalho Magina, Dr.). Para execução da presente pesquisa, foram disponibilizados dados referentes ao período de novembro de 2014 a maio de 2017, coletados de 10 em 10 minutos. Para fins de comparação com os dados de umidade do solo, o tratamento estatístico dos dados de precipitação envolveu a determinação do acumulado mensal de chuva.

Figura 3.7. Estação meteorológica localizada no INPE

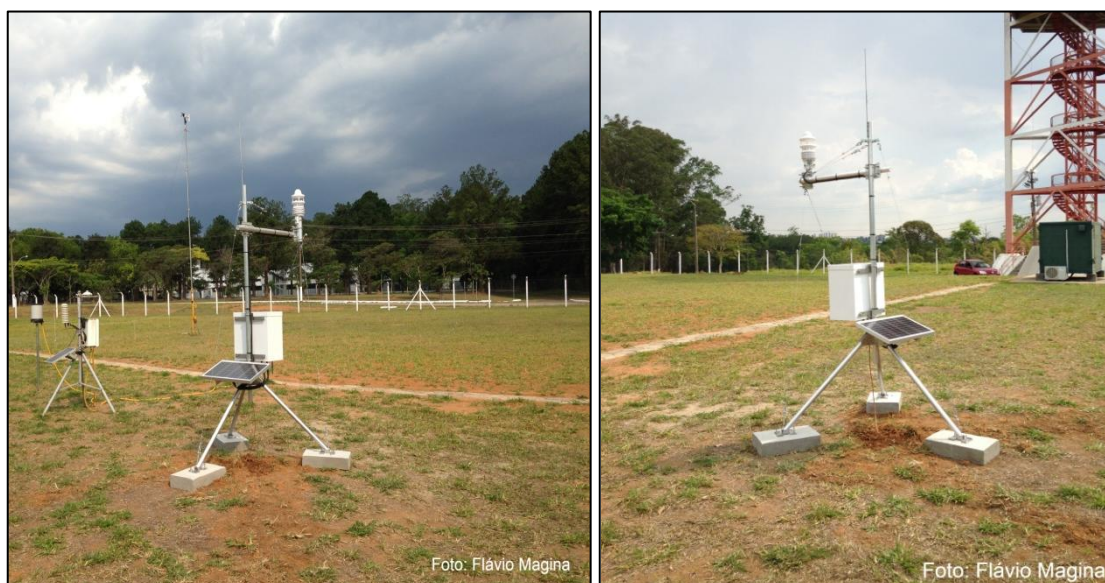
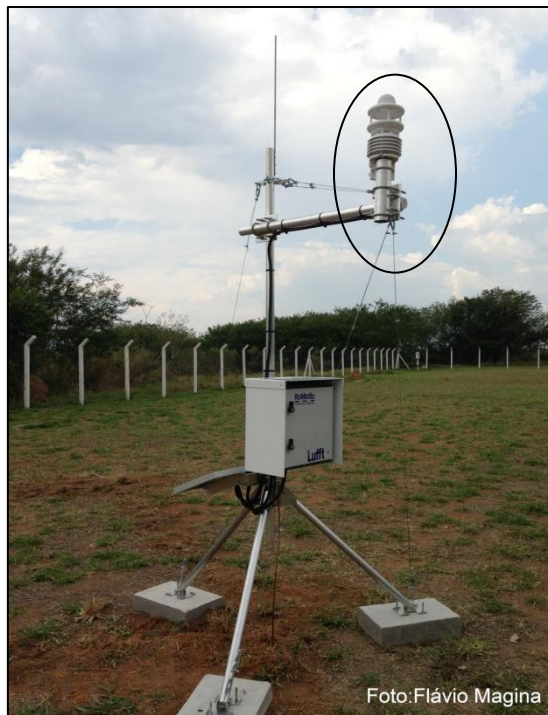


Figura 3.8. Pluviômetro do tipo radar Doppler



3.2.3. Caracterização do solo na área de estudo

O material analisado foi coletado em 2014, no momento da instalação da sonda Sentek. Ele foi acondicionado em sacos plásticos e armazenado no Laboratório de Ecohidrologia do CCST até o momento da análise. Em maio de 2017, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de solo, Tecido vegetal e Fertilizantes da Universidade de Federal de Viçosa, para as análises química e física (análise granulométrica) e químicas (K, Ca, Mg, P, Na, Al, pH, condutividade e elétrica e matéria orgânica) seguindo as metodologias constantes em EMBRAPA (1997), sintetizadas a seguir.

3.2.3.1 Análise física

A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a areia pelo método da peneira. Foi realizada a soma da fração de argila e areia e a fração restante é tida como o silte. As amostras de 10 g de TFSA permaneceram em contato com a solução de NaOH 0,1 mol/L durante 12 horas, e posteriormente, foram agitadas em rotação de 50

rpm por 16 horas. A fração areia grossa foi separada por peneira de malha de 0,2 mm e a fração areia fina por peneira de malha 0,053 mm (Embrapa, 1997).

3.2.3.2. Análise química

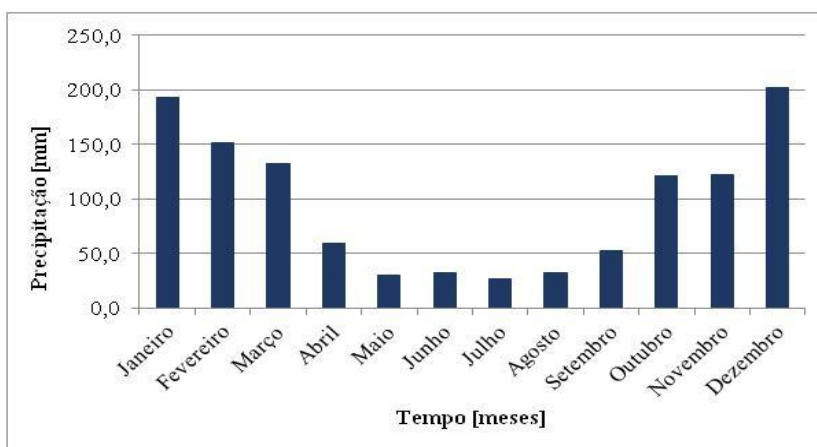
Foram realizadas as análises químicas de rotina (K, Ca, Mg, P, Na, Al, pH, condutividade e elétrica e matéria orgânica) segundo a metodologia proposta por Embrapa (1997) e Defelipo e Ribeiro (1997).

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. PRECIPITAÇÃO

A Figura 4.1 a seguir representa a precipitação média mensal da normal climatológica para cada mês no município de São José dos Campos, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

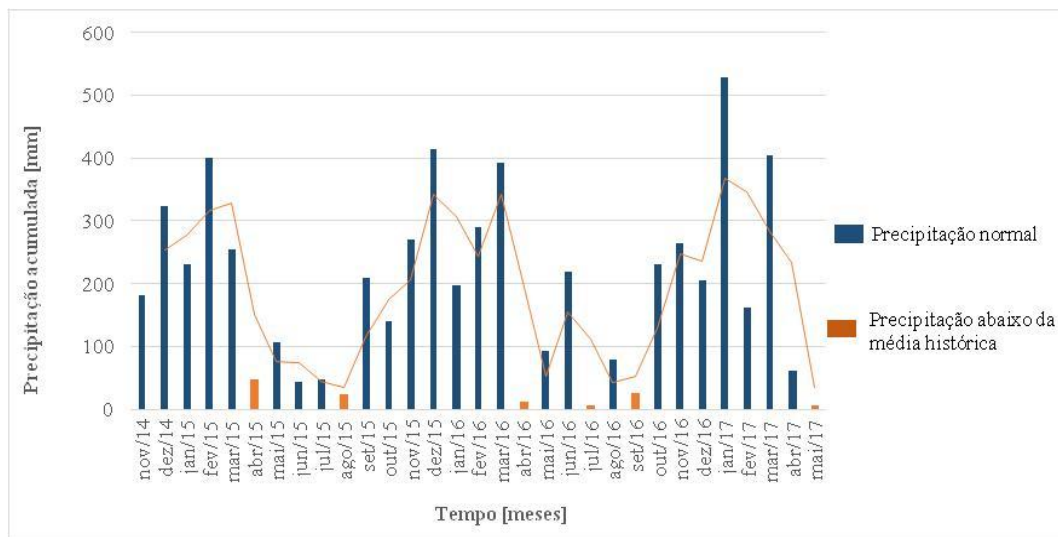
Figura 4.1. Valores da precipitação média mensal da normal climatológica



O clima de São José dos Campos é descrito como mesotérmico úmido, ou seja, possui precipitação ao longo de todo o ano. Porém é possível observar que o durante o inverno os valores de precipitação decaem e durante o verão se elevam.

O gráfico da Figura 4.2 apresenta os valores de precipitação acumulada mensal, em mm, para o período de novembro/2014 a maio/2017, referente a estação meteorológica localizada no INPE.

Figura 4.2. Precipitação mensal acumulada desde nov/2014 a mai/2017 (meses destacados em laranja representam os meses cujo valor da precipitação acumulada se encontraram abaixo da média histórica)



Ao analisar a precipitação média mensal da normal climatológica para cada mês no município de São José dos Campos, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é possível observar que abril e agosto de 2015; abril, julho e setembro de 2016 e abril e maio de 2017 obtiveram valores de precipitação abaixo da média histórica.

Tabela 4.1. Meses cuja precipitação se encontrou abaixo da média histórica

Data	Média histórica [mm]	Precipitação [mm]
abr/15	59,8	47,35
ago/15	31,9	23,08
abr/16	59,8	11,75
jul/16	26,6	5,93
set/16	52,8	26,01
abr/17	59,8	61,54
mai/17	30,3	6,28

Esses meses foram meses mais secos do que a média, caracterizando períodos de seca no sudeste do país.

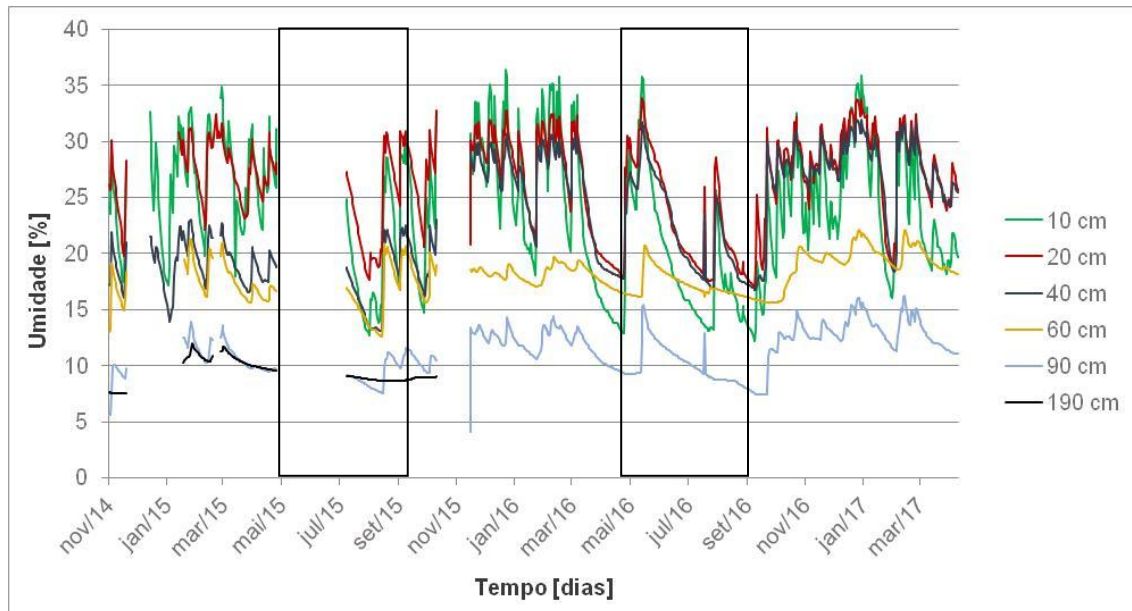
Através do gráfico da Figura 4.2 é possível observar também que os meses de maio a setembro correspondem aos meses com os menores valores de precipitação. Nesse período, em geral, a precipitação média mensal muito próxima ou menor do que 100 mm, caracterizando meses de estiagem. Exceção foi observada no mês de junho de 2016 que apresentou valores relativamente elevados de precipitação, atingindo um valor de 218,68 mm.

Durante o verão de 2013/2014 a região sudeste do Brasil foi assolada por uma seca originada por condições climáticas anormais vindas do norte da Austrália, que desencadearam uma sequência de eventos climáticos que atingiram a região tropical e extratropical do oceano Pacífico, afetando a região Sudeste (Coelho, 2015).

4.2. UMIDADE DO SOLO – MÉDIAS DIÁRIAS

A Figura 4.3 apresenta a variação da umidade volumétrica diária, em porcentagem, para cada profundidade do solo, ao longo do período compreendido entre novembro/2014 e maio/2017. As regiões delimitadas em preto referem-se ao período de seca (inverno) de cada ano de estudo.

Figura 4.3. Umidade volumétrica diária para o período de nov/2014 a mai/2017 (verde: 10 cm; vermelho: 20 cm; azul escuro: 40 cm; amarelo: 60 cm; azul claro: 90 cm e preto: 190 cm)



O primeiro sensor foi instalado a 10 cm de profundidade e analisando as respostas do sensor, fica evidente o quanto a primeira camada do solo sofre influência da precipitação, onde os valores de umidade acompanham de forma rigorosa os valores de precipitação acumulada. Por exemplo, os picos de maior umidade aconteceram juntamente com os picos de maior precipitação (como por exemplo, entre jan/17 e mar/17).

O segundo sensor, encontra-se a 20 cm de profundidade. O seu comportamento é extremamente similar ao do primeiro sensor (a 10 cm), porém os valores de umidade são menores do que os da camada acima, demonstrando que até essa “segunda” camada ainda existe forte influência da precipitação. O mesmo ocorre para o terceiro sensor localizado a 40 cm de profundidade: forte influência da precipitação, porém com valores de umidade abaixo dos medidos nas camadas. Os valores de umidade vão decaindo com o avançar da profundidade devido aos fatores de pré-utilização da água presente no solo (absorção pelas raízes, evaporação na superfície, etc.).

O comportamento das curvas de umidade do quarto e quinto sensor apresentam menor variação em relação as profundidades acima, ou seja, quanto maior a profundidade no solo, mais os valores de umidade tendem a ser constantes, sofrendo menos influência da precipitação.

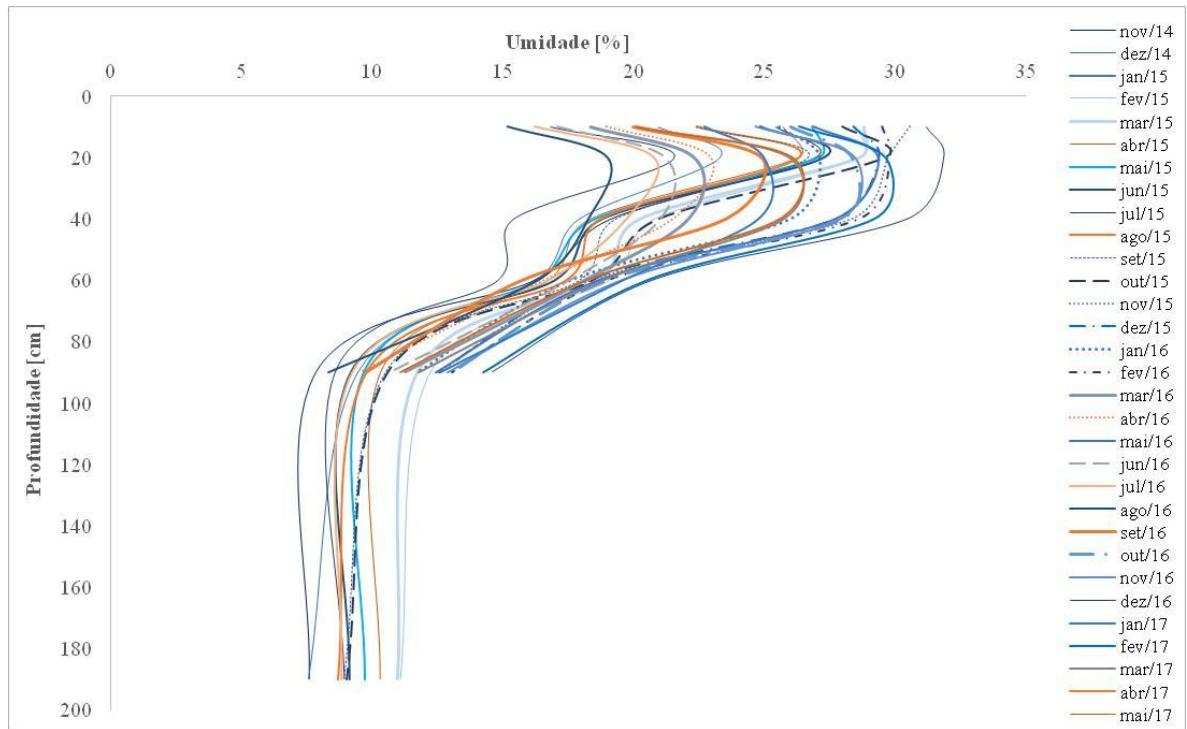
As camadas mais superficiais do solo (sensores localizados em 10 cm, 20 cm e 40 cm) tem um maior o valor de umidade no período chuvoso, estando na casa de 20% a 30% e menor no de seca, com valores por volta de 15% a 18%. Para as camadas superficiais, os maiores valores de umidade (31%, 31% e 30%) são observados no período chuvoso (jan/17), em comparação com os valores (15%, 18% e 15%) observados no período seco (set/16), onde essa grande amplitude de umidade observada nessas camadas superficiais do perfil é atribuída à influência climática.

É possível observar que entre dez/14 e jan/15, mai/15 e jul/15 e nov/15 até dez/15 os sensores, em todas as profundidades não obtiveram dados. A partir de dezembro de 2015 eles voltaram a funcionar normalmente, exceto pelo sensor localizado na profundidade 190 cm que não voltou a medir dados após a falha. Em um contexto geral as lacunas de dados não prejudicaram a interpretação dos dados, porém teria auxiliado a interpretação do comportamento nas profundidades mais profundas se os dados a 190 cm tivessem sido tomados.

4.3. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO COM A PROFUNDIDADE – MÉDIAS MENSAIS

Outra forma de se analisar os dados de umidade do solo é através do perfil vertical de umidade, apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4. Perfil vertical de umidade volumétrica mensal (tons em laranja representam meses que ocorreram pluviosidade abaixo da média histórica)



Ao analisar o perfil vertical de umidade do solo, é possível observar que a camada mais úmida do perfil se encontra entre 20 cm e 60 cm de profundidade. Acima dos 20 cm iniciais e abaixo dos 80 cm de profundidade, as camadas de solo vão se tornando mais secas. Abaixo de cerca de 1,0m de profundidade, todas as camadas diminuem o teor de umidade para valores entre 7 e 12% de umidade. Em geral, porém, por se tratar de uma área com vegetação esparsa, não foi possível observar de forma clara a influência da assimilação de água por parte das raízes no perfil de umidade. No entanto, foi possível averiguar através dos dados de umidade do solo a influência da seca extrema ocorrida em 2014. No período chuvoso do ano hidrológico de 2014/2015, de outubro a março, uma seca histórica de grandes proporções atingiu a região sudeste do país, em particular o estado de São Paulo.

Os dados de umidade do solo medidos nesse período de seca mostram que os menores valores de umidade foram observados em nov/14 e dez/14, onde as camadas

mais profundas (90 cm e 190 cm) sofreram reduções mais severas do que as superficiais com umidades por volta de 7% (em tempos de precipitação normal – p.e. 2017 – a camada de 90cm chegou a possuir 20% de umidade e praticamente não variou em relação a esse valor nos meses após a seca; infelizmente para a profundidade de 190cm os dados não se estenderam muito além do período de seca). Já as camadas superficiais não sofreram alterações tão discrepantes. Dentro do período de seca (nov/14 a mar/15) a média das umidades medidas para 10cm, 20cm e 30cm foram, respectivamente, 25%, 26% e 28% enquanto a média dos valores de umidade no período de nov/16 a mar/17 foram de 26%, 28% e 28%.

O perfil encontrado apresenta um padrão de variação da umidade do solo oposto ao que seria esperado. De acordo com a teoria, em tempos de estiagem, e especialmente para os casos de solo nu (sem vegetação), a umidade do solo tende a ser maior nas camadas mais profundas e menor na superfície. Isso ocorre devido as camadas mais profundas, que em geral, são alimentadas pela ascensão da água a partir do lençol freático. As camadas mais superficiais, por outro lado, ficam sujeitas às trocas com a atmosfera, umedecendo nos períodos de chuva e secando nos períodos de estiagem. No entanto, o perfil averiguado nesse solo foi inverso, ou seja, as camadas mais superficiais mostraram-se mais úmidas que as camadas mais profundas. A compreensão desse fato se torna ainda mais complexa se for considerado que as camadas superiores apresentaram um maior teor de areia do que as camadas mais profundas e em geral, a areia retém menos água do que a argila, e então se torna contraditório as camadas superficiais armazenarem mais água, mesmo sendo compostas de um material mais drenante do que as camadas mais profundas. Foi possível observar também que o perfil permaneceu o mesmo, mesmo durante a seca extrema ocorrida em 2014/2015. Em função desses fatores, pode-se supor a ocorrência de dois fatores:

- a) Lençol freático extremamente profundo, não exercendo influência na umidade da camada a 1,90m de profundidade, camada mais profunda que foi possível instrumentar. A probabilidade de ocorrência desse fator é alta, pois o lençol freático

no INPE se encontra, muito profundo - mais de 40m de profundidade. Devido a esse fato que o INPE é alimentado com água limpa do lençol subterrâneo.

b) As árvores do entorno, ainda que em pequeno número e esparsas, podem estar captando água abaixo de 1m de profundidade. Foram identificadas próximas a área de estudo, três indivíduos da espécie pinheiro, uma mangueira e cerca de duas espécies de árvores maduras não identificadas. Dentre essas, os pinheiros estão localizados de 0,5 a 3 m de distância do medidor de umidade do solo, aproximadamente. É possível então que a captação de água pelas raízes dessas árvores esteja influenciando o perfil de umidade do solo medido, de modo a diminuir a umidade das camadas mais profundas, mesmo que elas sejam compostas de um solo mais argiloso e com tendência a uma maior capacidade de retenção de umidade.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.4.1. Análise física

A Tabela 4.2. a seguir apresenta os resultados da análise física realizada nas amostras de solo em 5 profundidades (10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm).

Tabela 4.2. Classificação do solo segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Análise física					
Profundidades	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classificação SBCS
<i>cm</i>	<i>kg kg⁻¹</i>	<i>kg kg⁻¹</i>	<i>kg kg⁻¹</i>	<i>kg kg⁻¹</i>	
10	0,348	0,179	0,03	0,443	Argilo-Arenosa
20	0,357	0,17	0,015	0,458	Argilo-Arenosa
40	0,308	0,156	0,019	0,517	Argilo-Arenosa
60	0,298	0,162	0,051	0,49	Argilo-Arenosa
90	0,264	0,17	0,02	0,547	Argila

As quatro primeiras camadas foram classificadas como um solo argilo-arenoso, segundo a classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Essa textura implica numa menor retenção de água e maior percolação devido ao alto teor de areia

grossa. Tal fato pode ser associado com os valores das medidas de umidade aonde é possível verificar que as camadas superiores (10 cm, 20 cm, 40 cm) apresentaram maior variação ao longo do tempo, respondendo diretamente a precipitação. O solo a 60 cm, apesar do alto teor de areia grossa, não apresentou variação de umidade conforma relação direta com a precipitação ao longo tempo analisado, devido a sua maior profundidade e menor interação com a atmosfera assim como a camada argilosa a 90 cm.

4.4.2. Análise química

A Tabela 4.3. a seguir apresenta os resultados da análise química realizada nas amostras de solo em 5 profundidades (10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm).

Tabela 4.3. Análise química do solo segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Análise química															
Profundidade	pH	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
cm	H ₂ O	KCl	mg dm ⁻³			cmol ₀ dm ⁻³						%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
10	5,4	4,17	0,6	11	1,09	0,07	0,9	3,8	1,19	2,09	4,99	23	43,1	1,61	22,5
20	5,33	4,22	0,1	2	0,54	0,01	0,5	3,1	0,56	1,06	3,66	15,3	47,2	1,07	14,1
40	5,21	4,25	0	1	0,25	0,02	0,4	4	0,27	0,67	4,27	6,3	59,7	1,07	8,5
60	5,05	4,5	0	0	0,2	0	0,1	2,5	0,2	0,3	2,7	7,4	33,3	0,27	5,4
90	5,19	4,88	0	0	0,21	0,01	0	2	0,22	0,22	2,22	9,9	0	0,4	5,2

pH em água e KCl – Relação 1:2,5

P – K – Extrator Melich-1

H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0

t – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V = Índice de Saturação por Bases

ISNa – Índice de Saturação por Sódio

P-rem = Fósforo Remanescente

Ca²⁺ – Mg²⁺ – Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol/L

SB = Soma de Bases Trocáveis

T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

m = Índice de Saturação por Alumínio

MO (Mat. Orgânica) = C. Org. x 1,724 – Walkley-Black

Através desses resultados é possível verificar que se trata de um solo distrófico, ou seja, com baixa fertilidade natural em todo o perfil ($V < 50\%$). Foi observado também que os valores de pH, tanto em água quanto em KCl, estão na faixa entre 5 e 4,5, representando um solo com acidez elevada. Isso pode ser confirmado também a partir da alta concentração de alumínio ($36\% < m < 50\%$). Todas essas características evidenciam seu avançado estágio de intemperismo (Embrapa, 2013).

Os valores do teor de Matéria Orgânica (MO) e Soma de Bases (SB) decrescem ao longo do perfil e apresentam baixas concentrações, corroborando com os resultados discutidos anteriormente que caracterizam um solo quimicamente pobre (Embrapa, 2013).

5. CONCLUSÕES

Ao analisar a variação temporal das umidades em cada camada de solo e comparar com a variação temporal da precipitação é possível observar que ocorre uma maior variação da umidade do solo nas camadas superiores (10 cm, 20 cm e 40 cm) em comparação com as camadas mais profundas (60 cm, 90 cm e 190 cm).

Conclui-se então que as camadas mais superficiais do solo (sensores localizados em 10 cm, 20 cm e 40 cm) são as mais influenciadas pela chuva, ou seja, o valor da umidade aumenta no período chuvoso e diminui no de seca e as camadas subsequentes (60 cm, 90 cm e 190 cm), sofre pequena variação da umidade com a chuva (em particular, para as profundidades de 60 cm e 90 cm).

Através da análise dos dados foi possível concluir também que normalmente as camadas superficiais são as mais afetadas pelo clima, porém em tempos de seca extrema as camadas mais profundas – 90 cm e 190 cm – também podem ser afetadas.

A caracterização feita do solo explicitou que se trata de um solo argilo-arenoso ao longo das profundidades de 10 cm, 20 cm, 40 cm e 60 cm e argiloso em 90 cm, implicando em uma menor retenção de água e maior percolação. Também foi possível concluir que o solo em questão é altamente intemperizado e possui baixa fertilidade natural. Tais resultados permitem concluir que os níveis de umidade estão mais relacionados aos valores de precipitação do que as características químicas e físicas do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE LACERDA, Claudivan Feitosa. Relações solo-água-planta em ambientes naturais e agrícolas do Nordeste brasileiro. Disponível em <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA -
_RELA_ES_SOLOS_GUA_PLANTA.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/APOSTILA_-_RELA_ES_SOLOS_GUA_PLANTA.pdf)> em 2017.

RENNÓ, Camilo Daleles. Processos Hidrológicos – Tema 2 – Física do Solo. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/cst318_02fisicasolos.pdf> em 2017.

PRUSKI, F. F., Infiltração da Água no Solo. 3ª edição. 2006. Editora UFV.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. Rev. Bras. Cienc. Solo, v.29 n.2, p.161-168, Mai/Abr. 2005.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Res. Res., 16:574-582, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3a ed. Ver. ampl. Brasília, DF. 353p.