



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAROLINA WANDERLEY CABRAL CARVALHO

**ANÁLISE DA TAXA DE SECAGEM DA UMIDADE DO SOLO NA
BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

JOÃO PESSOA

2018

CAROLINA WANDERLEY CABRAL CARVALHO

**ANÁLISE DA TAXA DE SECAGEM DA UMIDADE DO SOLO NA
BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Paraíba, como pré-requisito obrigatório à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

João Pessoa
2018

C331a Carvalho, Carolina Cabral Wanderley

Análise da Taxa de secagem da umidade do solo na bacia experimental do riacho Guaraíra. / Carolina Wanderley Cabral Carvalho. – João Pessoa, 2018.

84f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida.

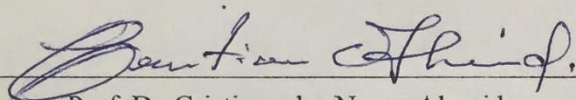
Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Umidade do Solo 2. Taxa de Secagem 3. Bacia Experimental

CAROLINA WANDERLEY CABRAL CARVALHO

**ANÁLISE DA TAXA DE SECAGEM DA UMIDADE DO SOLO NA BACIA
EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

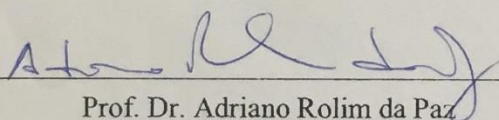
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil
do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba defendido no dia 13.06.2018.



Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

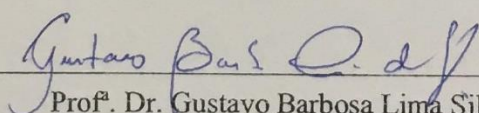
APROVADO



Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

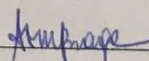
APROVADO



Prof. Dr. Gustavo Barbosa Lima Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

JOÃO PESSOA

2018

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o amor, carinho, dedicação, paciência e compreensão que sempre tiveram comigo ao longo de toda a minha vida, e contribuíram, dessa forma, para minha formação moral, ética e religiosa.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do curso de Engenharia Civil, inúmeros desafios surgem. Dessa maneira, gostaria de agradecer, primeiramente, à Deus, por propiciar-me diversas oportunidades, por encorajar-me e dar-me ânimo nas situações árduas, além de colocar ao meu lado pessoas tão especiais ao longo dessa trajetória.

Equitativamente, gostaria de enaltecer a contribuição dos meus pais, pelo apoio e segurança que me transmitem sem cessar, além de nunca terem medido esforços para qualificar ao máximo a minha formação acadêmica.

À minha irmã, que sempre colaborou para a realização dos meus sonhos, concretizando feitos inimagináveis que contribuíram para a minha formação humana e educacional.

Ao professor Cristiano das Neves Almeida, agradeço-lhe pela grande orientação neste trabalho, assim como pelo apoio, incentivo, críticas construtivas e cobranças a fim de obter sempre o meu melhor desempenho, tornando-se uma pessoa fundamental em minha formação acadêmica e profissional.

À minha família, especialmente aos meus primos. Eles que sempre me incentivaram a ampliar a minha visão como universitária e ter serenidade para superar e solucionar os obstáculos vividos.

Aos meus colegas de trabalho no LARHENA-UFPB, pelo suporte, conhecimento transmitido e apoio que me forneceram no período que trabalhei com eles.

Aos meus professores, por se dedicarem a uma profissão tão nobre, possibilitando a mais adequada formação no ramo. Agradeço, ainda, aos professores que compõem a banca, Adriano e Gustavo, por terem aceitado o convite de avaliar o presente trabalho, me sinto honrada em poder contar com a opinião acadêmica de dois profissionais tão competentes.

A presença de pessoas especiais torna essa caminhada menos cansativa e monótona. Por isso, gostaria de agradecer sobretudo aos meus amigos, por sempre tornarem mais leves os obstáculos e os momentos difíceis vivenciados ao longo desse período.

RESUMO

A umidade do solo está relacionada à água presente na parte mais alta do solo. Esta variável é, assim, um aspecto de fundamental importância na geração de escoamento superficial, na estimativa da evaporação, nos processos de infiltração, e em diversos outros fatores que interferem o balanço hídrico de uma região. Desta forma, percebe-se a relevância da umidade do solo tanto em processos hidrológicos, biológicos quanto biogeoquímicos. Diante disto, objetiva-se, com este estudo, analisar o comportamento de decréscimo da umidade do solo ao longo do tempo, denominada de taxa de secagem. Para esta finalidade, empregaram-se dados provenientes do monitoramento hidrológico da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra, a qual está localizada na região litorânea do Nordeste brasileiro, sendo representativa desta região. Mensuram-se os valores de umidade do solo a partir de sondas do tipo TDR (*Time Domain Reflectometry*), instaladas verticalmente em cinco pontos na bacia experimental. O período de dados selecionado para a pesquisa em questão foi seis anos da estação pluviográfica 01 e onze anos da estação 02, entre os anos de 2004 e 2016. A fim de analisar a variabilidade da umidade do solo durante o processo de secagem do solo, tanto em períodos chuvosos como períodos secos, foram identificados eventos de secagem, investigaram-se, também, as diversas peculiaridades de cada variável determinada. Estabeleceram-se, ainda, critérios de classificação de maneira a distinguir períodos e eventos com características distintas, para realização de análises de estatística descritiva por meio de diagramas “*box-plot*” para cada categoria. Os resultados obtidos foram divergentes para os diferentes intervalos e períodos dos eventos de taxa de secagem. Nos períodos secos, o comportamento encontrado de perda d’água no solo foi com tendência potencial ao longo do evento para as duas estações de monitoramento. No período úmido, por sua vez, tal tendência se manteve para uma das estações monitoradas, entretanto, para outra percebeu-se um comportamento linear, com relativa linearidade ao longo do evento. Desta forma, é possível ressaltar a importância deste estudo, visto que em uma mesma bacia experimental a dinâmica da umidade do solo difere. E prever como ocorre a perda de água por cada solo, observando-se características específicas da área, vem a ser útil para inúmeros desdobramentos da gestão de recursos hídricos, como irrigação e agricultura.

Palavras-chave: umidade do solo, taxa de secagem, bacia experimental.

ABSTRACT

Natural soil moisture is related to the water present in the highest part of the soil. This variable is a fundamental aspect in the generation of surface runoff, evaporation estimate, infiltration processes, and other factors that might interfere in the water balance of a region. In this way, the soil moisture is perceived in both hydrological, biological and biogeochemical processes. In this study, the main goal is to analyze the behavior of decreasing soil moisture throughout time, here denominated as drying rate. For this purpose, we used hydrological monitoring data from the Guaraíra Experimental Basin, which is located in the coastal region of Brazilian Northeast, being representative of this area. The soil moisture values are measured by TDR (Time Domain Reflectometry) probes, installed vertically at five points in the experimental basin. The period of data selected for the survey was six years from station 01 and eleven years from station 02, between the years of 2004 and 2016. In order to analyze the soil moisture variability during the soil drying process, in both dry and wet periods, drying events were identified and the different peculiarities of each variable were investigated. Classification criteria were also established in order to distinguish periods and events with different characteristics, to perform descriptive statistics analyzes through box-plot diagrams for each category. Divergent results were observed for the different dry rate intervals and periods of the drying rate events. In the dry periods, the behavior of soil water loss was with a potential trend throughout the event for both stations. In the wet period, this tendency was maintained for one of the monitored stations, however, for the other one noticed a linear behavior, with relative linearity throughout the event. In this way, it is possible to emphasize the importance of this study, since in the same experimental basin the soil moisture dynamics differs. And to predict how water loss per soil occurs, observing specific characteristics of the area, is useful for numerous unfolding of the water resources management, such as irrigation and agriculture.

Keywords: soil moisture, dryrate, experimental basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra	28
Figura 2 - Uso do solo na Bacia Experimental.....	29
Figura 3 - Detalhamento das características da rede de monitoramento da bacia experimental	30
Figura 4 - Destaque da localização das estações de monitoramento analisadas no estudo	35
Figura 5 - Entorno das estações de monitoramento: a) Est. Pluv. 01 b) Est. Pluv. 02 c) Est. Pluv. 04.....	35
Figura 6 - Caracterização dos eventos de secagem do solo.....	36
Figura 7 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2008 na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra em cada estação de monitoramento.....	40
Figura 8 - Boxplot com o maior período de dados de umidade do solo disponíveis para cada estação de monitoramento	42
Figura 9 - Dinâmica da umidade do solo com erro grosseiro de medição para pico de baixa .	44
Figura 10 - Dinâmica da umidade do solo com erro grosseiro de medição para pico de alta ..	44
Figura 11 - Evento de Umidade após correção de erro grosseiro de baixa	45
Figura 12 - Evento de Secagem do solo após correção de erro grosseiro de pico.....	45
Figura 13 - Dinâmica da umidade do solo com destaque para eventos de secagem	46
Figura 14 - Variação da Umidade do Solo para todos os eventos nas estações analisadas.....	47
Figura 15 - Variação da duração para todos os eventos nas estações analisadas	48
Figura 16 - Variação da Taxa de Secagem para todos os eventos nas estações analisadas.....	48
Figura 17 - Variação de Umidade do Solo para diferentes períodos e estações.....	49
Figura 18 - Variação da duração dos eventos para diferentes períodos e estações.	50
Figura 19 - Variação de taxa de secagem para diferentes períodos e estações.	51
Figura 20 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para todos os eventos: Estação 01	52
Figura 21 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para todos os eventos: Estação 02	52
Figura 22 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para todos os eventos: Estação 01	53
Figura 23 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para todos os eventos: Estação 02	53

Figura 24 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 01..	54
Figura 25 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 02..	55
Figura 26 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período úmido: Estação 01	55
Figura 27 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 02..	56
Figura 28 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período seco: Estação 01.	56
Figura 29 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período seco: Estação 02.	57
Figura 30 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período úmido: Estação 01	57
Figura 31 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período úmido: Estação 02	58
Figura 32 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2004 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.....	64
Figura 33 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2005 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	65
Figura 34 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2006 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	66
Figura 35 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2006 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	67
Figura 36 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2009 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	68
Figura 37 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2010 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	69
Figura 38 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2011 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	70
Figura 39 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2013 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	71
Figura 40 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2015 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	72
Figura 41 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2016 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.	73
Figura 42 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2004 das estações analisadas.	74
Figura 43 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de	

2005 das estações analisadas	75
Figura 44 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2006 das estações analisadas.	76
Figura 45 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2007 das estações analisadas.	77
Figura 46 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2009 das estações analisadas.	78
Figura 47 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2010 das estações analisadas.	79
Figura 48 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2011 das estações analisadas.	80
Figura 49 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2013 das estações analisadas.	81
Figura 50 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2015 das estações analisadas.	82
Figura 51 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2016 das estações analisadas.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das estações de monitoramento da Bacia Experimental.	31
Tabela 2 - Equações de calibração das sondas TDR.	33
Tabela 3 - Análise quantitativa, em %, da quantidade de dados horários de umidade do solo das estações.....	34
Tabela 4 - Resumo dos anos com informações utilizados na metodologia proposta	43
Tabela 5 - Número de eventos encontrados a partir de cada critério utilizado	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Gerais.....	16
2.2	Específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Bacias Hidrográficas.....	17
3.1.1	Bacias Hidrográficas Experimentais	17
3.1.2	Instalação de Bacias Experimentais no Nordeste Brasileiro	19
3.2	Umidade do Solo	21
3.2.1	Fatores que influenciam a umidade do solo	23
3.2.2	Formas de medição da umidade do solo.....	24
3.2.3	Análise espaço-temporal da umidade do solo	25
3.3	Drydowns	26
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Descrição da área de estudo.....	28
4.2	Monitoramento Hidrológico	30
4.2.1	Monitoramento da Precipitação.....	32
4.2.2	Monitoramento da Umidade do Solo.....	32
4.3	Escolha dos dados a serem utilizados na análise	33

4.4	Determinação dos eventos de secagem	35
4.5	Exclusão de eventos de secagem	36
4.6	Descrição das análises	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	Monitoramento Hidrológico	39
5.1.1	Monitoramento da Precipitação	39
5.1.2	Monitoramento da Umidade do Solo	39
5.2	Eventos de Secagem	43
5.3	Determinação das Variáveis	46
5.3.1	Variáveis calculadas para todos os eventos	47
5.3.2	Variáveis calculadas nos períodos secos e úmidos	48
5.3.3	Divisão dos eventos em quartis	51
5.3.3.1	Divisão dos eventos em quartis e em períodos	54
6	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A – PRECIPITAÇÃO E DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO NAS ESTAÇÕES PLUVIOGRÁFICAS	64
	APÊNDICE B – DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO COM RESPECTIVOS LIMITES DOS EVENTOS DE SECAGEM E PRECIPITAÇÃO	74

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento aprofundado do comportamento das variáveis hidrológicas é de suma importância para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Os estudos relacionados possuem diferentes propósitos, sendo as principais metas concluir sobre sua melhor alocação, maneiras de racionalizar o consumo e evitar, portanto, seu desperdício.

Uma alternativa para os estudos hidrológicos de uma região, que apresenta insuficiência de dados, trata-se da regionalização de parâmetros hidrológicos a partir das bacias hidrográficas experimentais, representativas de uma região homogênea, ou seja, de áreas com certa homogeneidade fisiográfica e hidroclimatológica, onde são instrumentadas uma rede de estações de monitoramento hidrológico para a criação de bancos de dados, que serão utilizados para a futura regionalização hidrológica (TRONCOSO, 2012).

No âmbito das variáveis que compõem o ciclo hidrológico de bacias hidrográficas, a umidade do solo trata-se de uma variável chave nos processos hidrológicos, biológicos e biogeoquímicos (LIU; WANG; ZHAO, 2010; ROSSATO; ANGELIS; ALVALÁ, 2013). A umidade do solo relaciona-se à água presente na parte mais alta de um solo. Sua importância consiste, indubitavelmente, pelo fato de controlar a troca de água e energia entre a superfície e a atmosfera, ou seja, governa a divisão destes fluxos de massa e energia desempenhando assim um papel fundamental na avaliação dos diferentes componentes do balanço hídrico e energético (BROCCA et al., 2017; ROMANO, 2014; VEREECKEN et al., 2014).

Esta variável influi direta e indiretamente na resistência do solo, geração de escoamento, infiltração, desenvolvimento ambiental da região (tanto flora como fauna), formação de redes de drenagem e até mesmo modificações morfológicas e topográficas da região (MITTELBACH; SENEVIRATNE, 2012).

Por outro lado, é válido ressaltar que inúmeros são os aspectos que influem na umidade do solo. Uso e ocupação do solo e topografia são exemplos destes. Sabe-se, ainda, que fatores como uso da terra e inclinação estão extremamente relacionados à umidade do solo, drenagem e escoamento das águas. A precipitação tende a aumentar a média de umidade nos primeiros dias devido à interceptação vegetal que, quando existe, após reter parte da precipitação, começa a liberar água.

Com o intuito de aferir as medições da umidade do solo, diversas formas podem ser utilizadas: através de medições pontuais com sensores eletromagnéticos de umidade do solo (*Time domain reflectometer*, *Capacitance* e *Time Domain transmission sensors*); métodos hidrogeofísicos (*ground penetrating radar*, indução eletromagnética); sensoriamento remoto;

sondas de raios cósmicos (VEREECKEN et al., 2014).

Para compreender o comportamento da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo, vários estudos vêm sendo realizados. Estes constataram, em escala local, a ampla influência desta variável nos processos hidrológicos, como recarga de aquífero, infiltração e escoamento superficial (HU; SI, 2016; MITTELBACH; SENEVIRATNE, 2012; VACHAUD et al., 1985). No Brasil, no entanto, estas pesquisas ainda são incipientes, devido à dispendiosa tarefa que é a implantação e a conservação de redes de monitoramento.

Uma abordagem recente para este tema trata-se de estudos que analisam a dinâmica da umidade do solo no momento posterior aos eventos chuvosos. Neste período, o de secagem do solo, é observado a variação da umidade do solo, tempo (duração) e velocidade de secagem do solo (taxa de secagem). Esta taxa possui grande importância na avaliação da perda de água no solo, além de influenciar em outros processos como escoamento superficial, evapotranspiração e drenagem.

A fim de analisar este período da dinâmica da umidade do solo, separam-se eventos de secagem, denominados na literatura de “drydowns”. Estes podem ser definidos como a série temporal de umidade do solo imediatamente posterior a um evento de precipitação e que ao longo do tempo gera a secagem do solo.

Por referir-se a um novo tipo de abordagem, os estudos relacionados ao tema são poucos. Rondinelli *et al.* (2015) e McColl *et al.* (2017) investigaram a taxa de secagem das respectivas áreas de estudo, utilizando-se de comparações entre valores de umidade do solo determinados *in loco* e aqueles obtidos através de imagens de satélites (SMAP e SMOS). Esta literatura supracitada concluiu que a umidade do solo observada por meio das informações de satélite decresce mais rápido que aquelas observadas *in loco*, isto é justificado visto que os satélites mensuram a variação da umidade do solo em camadas mais rasas do que os sensores.

Diante do exposto, almeja-se analisar a dinâmica da umidade do solo em períodos posteriores aos eventos chuvosos, denominados nesta pesquisa de eventos de secagem, a partir de dados obtidos do monitoramento hidrológico na bacia experimental do Riacho Guaraíra. O principal objetivo do estudo é compreender minuciosamente estes processos de secagem e realizar uma análise comparativa entre as estações estudadas. Nesta bacia existem quatro estações pluviográficas e uma climatológica, que são monitoradas desde 2003 e possuem sondas do tipo TDR (*Time Domain Reflectometry*), que medem de maneira indireta a umidade do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo desse estudo é analisar o comportamento relativo à dinâmica da umidade do solo em períodos posteriores a eventos chuvosos, ou seja, em intervalos de tempo, denominados neste estudo, de eventos de secagem, a partir de dados da bacia experimental do riacho Guaraíra, representativa da região nordeste do Brasil.

2.2 Específicos

- Analisar a dinâmica da umidade do solo e sua relação com a precipitação através de sondas com medições in-situ de alta resolução temporal horária;
- Verificar o comportamento de secagem do solo nas estações monitoradas com bases nos dados obtidos do monitoramento hidrológico da bacia experimental do riacho Guaraíra no período determinado, visando compreender o funcionamento detalhado destes processos;
- Observar o comportamento da taxa de secagem do solo em diferentes cenários, como períodos secos e chuvosos;
- Comparar os resultados obtidos para o conjunto de dados utilizados, representativos do decrescimento da umidade no solo nos períodos posteriores a precipitação entre as duas estações de monitoramento analisadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bacias Hidrográficas

De acordo com Tucci (2002), é possível afirmar que a principal fase de interesse dos estudos relativos ao ciclo hidrológico, trata-se da fase terrestre, no qual o elemento essencial é a bacia hidrográfica. Ainda segundo o mesmo autor, a bacia hidrográfica é uma região de captação natural da água proveniente da precipitação que converge o escoamento para um único ponto de saída, o exutório, também denominado como seção de controle.

Quanto às bacias representativas, Toebe *et al.* (1973) definiram bacias hidrográficas representativas como sendo aquelas selecionadas tais quais sejam representativas de uma região hidrológica. Ainda, de acordo com Silva *et al.* (2006), é possível afirmar que as bacias representativas são escolhidas como sendo representantes de uma área hidrologicamente homogênea, isto é, representativas de uma área onde se saiba que exista certa homogeneidade do ponto de vista fisiográfico e hidroclimatológico, que tenha mesmo regime pluviométrico e fluviométrico, tempo e clima com características semelhantes e, quando possível, características fisiográficas e geomorfológicas semelhantes também.

3.1.1 Bacias Hidrográficas Experimentais

As bacias experimentais são aquelas bacias relativamente homogêneas em solo e vegetação, com características físicas uniformes. Algumas das características das bacias hidrográficas, ditas experimentais, podem ser modificadas com o propósito de estudar os efeitos destas alterações nas características hidrológicas (TOEBES; OURYVAEV, 1973).

De acordo com estes autores, a pesquisa hidrológica em bacias experimentais sofre não apenas com a falta de dados e padronização das técnicas de observação e processamento, mas também, com métodos de pesquisa que resultam apenas numa compreensão limitada dos processos físicos ocorridos. Não devendo tais pesquisas serem meramente experimentos estatísticos sem metodologia definida, nas quais são obtidos apenas conclusões limitadas, e, no entanto, visar a previsão e estimativa qualitativa e quantitativa das diversas características. Assim, é possível afirmar que a finalidade das pesquisas hidrológicas não é somente a coleta de dados, e sim uma interpretação destas informações na resolução de problemas de gestão e planejamento de recursos hídricos.

As bacias experimentais funcionam como um laboratório em campo, densamente equipadas, onde busca-se caracterizar as relações entre solo, planta, água e atmosfera, assim

como suas inter-relações, ou seja, estudar detalhadamente os processos físicos dentro do ciclo hidrológico (FONTES; ALVARES; MEDEIROS, 2004). A utilização de bacias experimentais é um instrumento eficiente para a estimativa do comportamento hidroclimatológico característico de bacias de qualquer região climática (SILVA; SILVA; SANTOS, 2006).

Dado que a região hidrográfica experimental seja representativa dessas características, as informações podem ainda, através de metodologias adequadas, serem extrapoladas. É válido ressaltar a indispensável contribuição que os estudos em bacias experimentais e representativas podem dar na compreensão dos efeitos das mudanças climáticas globais. Pode-se ainda, a partir da escolha da bacia experimental, buscar a representatividade das condições socioeconômicas associadas a região (SILVA; EWEN, 2000).

Essas bacias experimentais podem subsidiar os processos de regionalização de informações, preenchendo a lacuna da falta de monitoramento das variáveis que são de suma importância para a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, dos estudos realizados com a implantação de bacias experimentais, pode-se extrair diretrizes de gestão para aplicação em locais desprovidos de informações e que não possui recursos financeiros para reverter esse quadro (FONTES; ALVARES; MEDEIROS, 2004).

Então, com o intuito de facilitar as pesquisas e estudos de determinadas áreas, utilizam-se as chamadas bacias experimentais e representativas. Desta forma, pode-se estudar pequenas e grandes áreas com o intuito de extrapolar seus resultados para outras regiões com propriedades semelhantes (LIRA, 2015). A instalação de bacias experimentais compoendo uma região homogênea permite a transferência de informações de um local para outro que apresente similaridade de comportamento. Assim a escassez de dados hidrológicos é combatida com a otimização das informações disponíveis que, associadas a ferramentas específicas, conseguem subsidiar medidas de gestão de acordo com o comportamento hidroclimatológico regional em locais sem dados (FONTES, 2005).

Tendo evidenciado a vasta gama de vantagens de utilizar bacias experimentais como objeto de estudo de pesquisas na área de recursos hídricos, encontram-se diversas pesquisas neste sentido.

Segundo Whitehead *et al.* (1993), a longa tradição de estudos de bacias hidrológicas resulta da necessidade do entendimento do balanço hídrico, dos processos de controle dos movimentos da água e dos impactos da mudança do uso da terra na quantidade e qualidade da água. Com o intuito de verificar a incidência de tais estudos, os autores levantaram em sua pesquisa diversas análises relacionadas a este tema desde o fim do século XIX, o qual classificaram como sendo o período inicial dos estudos hidrológicos mais pontuais e com o

surgimento de técnicas e equipamentos que facilitaram a coleta e medição de dados. Eles concluíram que tais pesquisas evoluíram bastante, tornando-se rotineiras, além disso, ressaltaram a ênfase considerável nos aspectos ambientais das mudanças ambientais locais e globais.

Buscando-se estudos em bacias experimentais relativos à umidade do solo, ressalta-se a utilização de um método inovador, denominado SM2RAIN, por Brocca *et al.* (2015), almejando-se inferir a precipitação através das observações de umidade do solo in-situ. A partir desta avaliação, foram encontrados coeficientes de determinação iguais a 87% e 85% para o período de calibração e validação, respectivamente. Foi possível concluir que os valores de umidade do solo podem, portanto, ser eficientemente empregados na estimativa da precipitação. Observou-se, ainda, que a performance é melhor em climas temperados úmidos e quando o sensor de umidade do solo é instalado verticalmente.

No Brasil, podem-se destacar os seguintes estudos referentes à variabilidade da umidade do solo: Medeiros *et al.* (2007) avaliaram a estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural na região do derrame basáltico sul-riograndense com o objetivo de identificar pontos de amostragem que reproduzem o comportamento médio e extremo do conteúdo de água no solo. A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que a estabilidade completa do padrão espacial da umidade do solo foi observada na profundidade de 30 cm, entretanto, não se configurou na camada superficial. Santos (2010) objetivou avaliar temporalmente o conteúdo de água do solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície, bem como na produtividade do feijoeiro em regime de sequeiro. Tal estudo foi realizado na bacia representativa do Alto Ipanema, localizada na região agreste do estado de Pernambuco, foi equipada com uma estação climatológica, duas estações pluviográficas e duas sondas TDR. Concluiu-se, após análise estatística dos dados obtidos, que a umidade do solo apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo, sendo mais dependente da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente.

3.1.2 Instalação de Bacias Experimentais no Nordeste Brasileiro

Na região Nordeste do Brasil, em 2001, em parceria com a ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, foi idealizada e implantada uma Rede de Hidrologia do Semiárido, REHISA, que tem como principal foco a avaliação do balanço hídrico em diferentes escalas de tempo e espaço, utilizando para isto modelos hidrológicos distribuídos, e

técnicas experimentais de avaliação de incertezas, além da formação de um banco de dados e criação de uma rede de compartilhamento de experiências e informações sobre bacias experimentais. Esta rede de monitoramento e instalação de bacias experimentais foi desenvolvida pelas seguintes instituições e seus respectivos grupos de pesquisa: UFPB, UFCG, UFC, UFBA, UFAL, UFRN, UFPE, UFRPE, UFS, FUNCEME, UEPB (REHISA, 2004).

Para desenvolver tais estudos, faz-se necessária a utilização de experimentos de campo e laboratório, modelagem matemática, e, em alguns casos, até uso de sensoriamento remoto. Os principais focos das pesquisas, geralmente, são: análises de vazão, evapotranspiração, precipitação, umidade do solo, infiltração, nível estático, entre outros.

Diversas pesquisas foram realizadas nas bacias instaladas pelo projeto supradito. Pode-se citar como exemplos: Rocha (2008), que desenvolveu a simulação do escoamento superficial para diferentes cenários de uso e ocupação do solo na bacia experimental de Santana do Ipanema (BESI), localizada na bacia hidrográfica do riacho Gravatá (BHRG), utilizando-se o modelo Kineros2. A partir dos resultados obtidos, o autor concluiu que o efeito do desmatamento do solo conduz a um acréscimo considerável no volume escoado, conseqüentemente, contribuindo ainda mais para a escassez hídrica da região.

Araujo e Piedra (2009) compararam dados entre duas bacias experimentais, Aiuaba, que se encontra no semiárido do Brasil, e outra numa região úmida de Cuba. A análise apresentou que 73% da vazão média do rio está disponível (com 90% de confiabilidade anual) na bacia disposta na região úmida, contra apenas 28% na do semiárido. A principal causa da diferença de vazão gerada é o excesso de evapotranspiração, que consome 55% da água armazenada no reservatório do semiárido, contra apenas 12% no úmido. Concluindo, portanto, os autores que apesar das inúmeras semelhanças presentes entre estas duas bacias tropicais, há diferenças hidrológicas, mostrando, assim a importância de investigações adicionais no campo da hidrologia.

Cordeiro, Albuquerque e Montenegro (2015) analisaram a evapotranspiração de referência (ET_o) na bacia experimental do Riacho Gameleira. O método utilizado foi o de Penman-Monteith da FAO em intervalos diários. Os valores resultantes de ET_o foram entre 0,89 mm/dia em julho/2013 e 5,23 mm/dia em fevereiro/2013, com uma média de 3,42 mm/dia para todo o período estudado.

Lira (2015) investigou a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo na bacia experimental do riacho Guaraíra, realizando a calibração das sondas de umidade do solo do tipo TDR (*Time Domain Reflectometry*). Este concluiu que a variabilidade temporal da

umidade do solo relaciona-se, principalmente, às variações no regime de precipitações e umidade antecedente. Ao passo que a variabilidade espacial está relacionada, essencialmente, aos termos invariáveis no tempo, além de constatar a importância da cobertura vegetal como controlador natural da umidade do solo.

3.2 Umidade do Solo

Em geral, a umidade do solo se refere à água presente na parte mais alta de um solo e é uma variável global que controla uma ampla gama de processos ecológicos, hidrológicos, geotécnicos e meteorológicos. Esta regula, portanto, a troca da energia e água entre a superfície e a atmosfera (ROMANO, 2014; ROSSATO; ANGELIS; ALVALÁ, 2013). A determinação e medição precisas da umidade do solo são necessárias para a estimativa e previsão de infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e fluxos de calor latente, sensível e terrestre (no solo) (LIU et al., 2010).

Seneviratne *et al.* (2010) destacam a essencialidade desta variável no clima e na ciência hidrológica através de seu impacto no balanço de energia e água, visto que restringe a transpiração e a fotossíntese de plantas em diversas regiões do mundo, com conseqüentes impactos nos ciclos hídrico, energético e biogeoquímico. Assim, os autores afirmam que a umidade do solo está envolvida em vários feedbacks nas escalas local, regional e global, e desempenha um papel importante nas projeções de mudanças climáticas.

A umidade do solo afeta predominantemente todos os processos que ocorrem no solo. Os processos de troca de massa e energia na interface solo-atmosfera, por exemplo, são determinados pelos parâmetros térmicos do solo (condutividade e capacidade), que dependem essencialmente do teor de água no solo. O solo atua não apenas como um reservatório de água disponível para as plantas, mas a solução do solo transporta os nutrientes para as próprias raízes das plantas, assim o teor de água no solo tem um impacto sobre as condições de crescimento das plantas. Portanto, as medições do teor de água no solo são uma das questões mais importantes, não apenas para meteorologia, como também em aplicações hidrológicas e agrícolas (PASTUSZKA et al., 2014).

Para uma vasta gama de estudos agrônômicos, hidrológicos, pedológicos e ambientais, o conhecimento acerca da variabilidade espacial e temporal da umidade do solo é de essencial importância. Do ponto de vista físico, a umidade do solo influencia as propriedades hidráulicas do solo, que produzem efeitos cruciais nos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão do solo, os quais são críticos em diversos campos de interesse prático (ZUCCO et al., 2014).

Abelen e Seitz (2013) investigaram as possibilidades e benefícios de relacionar produtos de umidade do solo de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica a informações sobre a mudança total de armazenamento de água da gravimetria por satélite. Dentre os objetivos do trabalho destaca-se melhorar conjuntos de dados globais acerca da umidade do solo, como por exemplo: a necessidade de entender a natureza desta variável e seus processos associados e o desenvolvimento de métodos para a validação dos produtos gerados a partir da umidade do solo.

Brocca *et al.* (2012) pesquisaram acerca da variabilidade da umidade do solo na escala de captação ($> 100 \text{ km}^2$), que é o tamanho necessário para algumas aplicações hidrológicas e para a análise de validação de sensoriamento remoto. Especificamente, foram realizadas medições em duas áreas adjacentes localizadas na região central da Itália com extensão de 178 e 242 km^2 e durante um período de 1 ano. Tais valores foram aferidos com sondas do tipo TDR para uma profundidade de camada de 0 a 15 cm. O principal objetivo foi expandir os resultados obtidos em bacias de pequeno e médio porte com foco no aumento da variabilidade espacial da umidade do solo com o aumento da área de estudo. Para a área investigada, os dois principais resultados inferidos são: a variabilidade espacial da umidade do solo aumenta com a área, de até, em média, 10 km^2 e, em seguida, permanece constante com um coeficiente médio de variação igual a 0,20 e independente da extensão superficial, a umidade do solo apresenta características de estabilidade temporal e, portanto, poucas medidas podem ser utilizadas para inferir valores médios com boa acurácia (coeficiente de determinação maior que 0,88). Os autores concluíram, ainda, que essas percepções baseadas em observações de umidade do solo *in situ* corroboram a oportunidade de usar informações pontuais para a validação de imagens de satélite de resolução aproximada.

Alguns estudos investigam a resposta da umidade do solo aos eventos chuvosos. Dentre estes, He *et al.* (2012) estudaram a resposta da umidade do solo em duas estações de monitoramento com cobertura vegetal distintas, no noroeste da China. A partir de tais pesquisas, observou-se que a umidade do solo nas profundidades de 20 e 40 centímetros aumentaram significativamente após o evento chuvoso, no entanto, a magnitude da variação está intimamente ligada a duração do período seco que precede a precipitação. Em contrapartida, nas profundidades de 120 até 160 centímetros, a umidade não variou significativamente nos dois pontos de monitoramento. Os autores, então, concluíram que tais resultados sugerem que os grandes eventos de precipitação ($>20\text{mm}$) desempenham um papel fundamental no aumento do armazenamento de água no solo nos locais estudados.

3.2.1 Fatores que influenciam a umidade do solo

Inúmeros artigos indicam que o uso do solo e suas propriedades, topografia, umidade média do solo, elevação relativa, precipitação, radiação solar influenciam na distribuição da umidade do solo, de acordo com Qiu *et al.* (2001). A partir do estudo destes autores, concluiu-se que atributos ambientais, como uso do solo e topografia, executam funções importantes na distribuição espacial de média de tempo de umidade do solo e média da umidade do solo em suas diferentes camadas de profundidade. A umidade média do solo está relacionada tanto ao perfil quanto às características dinâmicas do teor de umidade do solo, e é controlada tanto pelo uso da terra como pela topografia (por exemplo: aspecto, posição da inclinação, inclinação e elevação relativa).

Nota-se que solos com reduzida profundidade influenciam menos na umidade volumétrica do solo em virtude da sua menor capacidade de armazenamento. Ainda, terrenos com maiores declividades tornam o escoamento mais propenso do que a infiltração, fazendo com que a umidade do solo diminua, prejudicando a regulação dos volumes de evapotranspiração da vegetação. Assim, a tendência é que em terrenos com solos menos profundos e altas declividades, a influência do tipo de vegetação na infiltração da água seja menor (TUCCI, 2005 apud LIRA, 2015).

Cho e Choi (2014) trabalharam na península Coreana, com o objetivo de avaliar a variabilidade espaço-temporal da umidade superficial do solo e os fatores predominantes que influenciam a variabilidade espacial de tal variável na área estudada. A forte relação com a precipitação é notória, visto que ocorre o crescimento da umidade do solo logo após os eventos chuvosos, assim como, decréscimo antes do próximo evento chuvoso. A insolação e temperatura do ar e do solo exibem relações inversas com a umidade do solo, uma vez que estes fatores estão relacionados de certa forma ao processo de evaporação.

Chen *et al.* (2007) realizaram pesquisas visando compreender a relação entre o padrão de vegetação e a dinâmica da água no solo numa região semiárida na China. A partir destes, concluiu que a floresta de pinheiros induziu a maior perda de água sob escoamento superficial, seguida por terras cultiváveis, alfafa, pastagens semi-naturais e matagal. A baixa capacidade da floresta de pinheiros para a conservação da água pode ser atribuída à compactação do solo e à pequena cobertura do solo com árvores.

Santos (2010) avaliou temporalmente o perfil de umidade em solo do semiárido de Pernambuco, de modo a investigar o efeito de diferentes condições de superfície na variação do teor de umidade, além de verificar a variabilidade espacial do conteúdo superficial da água

no solo sob as características de precipitação ocorridas no semiárido pernambucano. Foi possível concluir que o aumento da média de umidade nos primeiros dias após a precipitação tem como provável causa a interceptação vegetal que, após reter parte da precipitação, começa a liberar água para o solo, por outro lado, o decaimento da umidade do solo, após o terceiro dia, deve ocorrer em consequência da evapotranspiração ser mais acentuada. Inferiu-se, ainda, que a umidade do solo foi mais dependente da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente.

3.2.2 Formas de medição da umidade do solo

A caracterização da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo é de suma importância em muitos campos científicos e aplicações operacionais. No entanto, devido à alta variabilidade da umidade do solo, seu monitoramento em grandes áreas e por longos períodos através de medições pontuais *in situ* não é simples (BROCCA et al., 2012). Assim, diversas formas de aferir esta variável estão sendo desenvolvidas.

Inúmeras são as maneiras de realizar as medições da umidade do solo, podendo se dar através de medições pontuais com sensores eletromagnéticos de umidade do solo (*Time domain reflectometry, Capacitance, Times Domain transmission sensors* e a recente *Cosmic-Ray Probe*). Há, também, formas não invasivas de aferir a umidade do solo, como métodos hidrogeofísicos (*Ground penetrating radar*, ou GPR, indução eletromagnética, tomografia de resistividade elétrica). Por fim, existem os métodos de sensoriamento remoto e sondas de raios cósmicos (*Passive Microwave Remote Sensing* e *Airborne and spaceborne active microwave remote sensing*) (VEREECKEN et al., 2014).

Rossato *et al.* (2013) avaliaram os impactos das características da superfície terrestre nos produtos de temperatura de superfície e de umidade do solo. Estes autores utilizaram métodos de medição envolvendo estimativas a partir de satélites e algoritmos para quantificar a umidade do solo no Brasil, incluindo características da superfície terrestre, tais como propriedades físicas do solo. Desta forma, este estudo concluiu que, a partir da inclusão das características da superfície terrestre do Brasil no LPRM (algoritmo *Land Parameter Retrieval Model*), a umidade do solo obtida pelo LPRM/BR trata-se de uma informação importante que pode ser aplicada para diversos fins, tais como monitoramento da umidade do solo em eventos extremos de chuva, apoio no planejamento de atividades de plantio e/ou de irrigação para determinadas culturas e assimilação de dados em modelos de previsão numérica de tempo, o que pode contribuir na melhoria da previsão do tempo.

Pastuszka *et al.* (2014) compararam os resultados de três sondas TDR inseridas

horizontalmente em diferentes níveis em amostras de solo com valores obtidos a partir de uma sonda de TDR inserida a partir do topo durante os processos dinâmicos de umedecimento e secagem. Estes autores corroboram que enquanto os métodos convencionais de amostragem de solos para avaliação da umidade são métodos destrutivos, uma vez que no local de coleta permanecem avarias, as sondas realizam o método de forma indireta, com menos interferência no local, além de ocorrer de forma automática. Os resultados destes autores mostram que a medição da umidade do solo depende da colocação da sonda TDR na amostra, e uma sonda TDR posicionada verticalmente mede a média aritmética da umidade do solo para toda a amostra, e que isto significa que esta variável aferida é representativa para toda esta amostra, tanto para os ciclos de umedecimento quanto de secagem.

3.2.3 Análise espaço-temporal da umidade do solo

A umidade volumétrica no solo varia de acordo com o local e o tempo. (Coppola, 2011 apud Lira, 2015). Vachaud *et al.* (1985) adotaram o conceito de estabilidade temporal em sua pesquisa, a qual investigou a estabilidade temporal da função densidade de probabilidade da umidade do solo medida espacialmente. Tais estudos verificaram a existência de uma estabilidade temporal significativa de determinados locais individuais caracterizados pelo mesmo parâmetro na distribuição estatística das observações de campo. Foi visto que alguns dos pontos analisados conservam a propriedade de representar a média e os valores extremos da umidade do solo em qualquer época ao longo do ano. Esta estabilidade pode ser explicada por uma grande extensão das relações entre a textura do solo e umidade volumétrica. Propriedades de retenção do solo, assim como condutividade hidráulica, em qualquer profundidade, são altamente correlacionadas com a textura do solo nesta mesma profundidade.

Brocca *et al.* (2012) usaram métodos estatísticos com o intuito de analisar a variabilidade da umidade do solo tanto no espaço quanto no tempo. A fim de realizar este objetivo, estes pesquisadores descobriram através da análise estatística que a umidade do solo nos locais estudados é bastante semelhante em termos de valores e variabilidade, devido à pluviosidade e características do solo e terreno serem, também, similares. Os resultados da pesquisa corroboraram que a variabilidade temporal da umidade do solo é mais significativa que a espacial e que a estimativa de um padrão espacial de umidade ao longo de períodos de transição é mais difícil e, desta forma, sujeita a maiores incertezas.

Mittelbach e Seneviratne (2012) pesquisaram acerca da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo, distinguindo as contribuições dos termos variáveis e invariáveis no

tempo em 14 pontos da rede de umidade do solo do projeto *SwissSMEX*. Desse modo, a metodologia utilizada foi decompor a variância espacial da umidade absoluta do solo ao longo do tempo em contribuições da variância espacial da umidade média do solo em todos os locais (que é invariante no tempo) e componentes que variam ao longo do tempo e estão relacionados à dinâmica da umidade do solo. Estes autores objetivavam identificar os pontos mais representativos para observar a estabilidade temporal e realizar as classificações de cada ponto de coleta. Os resultados demonstraram que os principais fatores contribuintes para o componente estático são a textura do solo e a topografia enquanto que para o componente dinâmico as condições meteorológicas e climáticas, onde estas últimas ainda induzem variações espaciais nestas dinâmicas. Os autores concluíram que o frequente uso de avaliações das características do quadro espaço-temporal da umidade do solo não se aplica a anomalias temporais desta variável, sabendo que a análise da umidade do solo decomposta revela uma pequena contribuição das dinâmicas em relação ao total da variabilidade da umidade do solo.

3.3 Drydowns

Recentemente, novos estudos estão sendo realizados com uma abordagem diferente, analisando a dinâmica da umidade do solo no período após os eventos chuvosos. Neste intervalo de tempo, quando a infiltração é nula, é investigado o comportamento da variação da umidade do solo, tempo e velocidade de secagem do solo (taxa de secagem). Esta taxa possui grande importância no estudo da perda de água no solo e influi também no escoamento superficial, evapotranspiração e drenagem.

Rondinelli *et al.* (2015) compararam dados de umidade do solo, no período de secagem, obtidos através de sensoriamento remoto (*SMOS - Soil Moisture Ocean Salinity*) e in-situ na bacia hidrográfica do rio *South Fork Iowa*. A partir destes valores, observou-se que a taxa de secagem do solo, após chuvas significativas, verificadas a partir do SMOS é superior àquela observada in loco. Concluiu-se, que os satélites e a rede in-situ constatarem diferentes camadas do solo: o primeiro refere-se a uma camada de solo na superfície com alguns centímetros de espessura, enquanto o segundo observa uma camada mais profunda do solo centrada na profundidade na qual os sensores são instalados. Notou-se, ainda, que a umidade superficial do solo do SMOS é mais baixa, em média, do que a umidade do solo da rede de *South Fork*.

Shellito *et al.* (2016) examinaram as taxas de secagem do solo comparando as observações de umidade superficial do solo da missão *Passive Active Passive* (SMAP) da

NASA com as de redes de sondas in situ melhoradas para a área de detecção do SMAP. Os autores observaram que as sondas SMAP e in situ registram diferentes dinâmicas de secagem do solo após a chuva. Elaborou-se, ainda, uma modelagem para tal processo ajustando uma curva exponencial a 63 eventos de “*drydown*”, resultando numa escala de tempo média de secagem em 44% menor para as mensurações advindas do SMAP, além da magnitude da secagem ser 35% maior que as medições in loco. Portanto, as diferenças observadas são provavelmente devidas a diferenças nas profundidades de detecção: o SMAP mede a umidade do solo menos profunda que as sondas in situ, especialmente após a chuva.

McColl *et al.* (2017) definem que os termos de perda da água da terra são codificados na forma de “*drydowns*” de umidade do solo. Trata-se da série temporal da umidade do solo diretamente após um evento de precipitação, durante o qual a entrada da infiltração é zero. Os autores afirmam que a taxa na qual os “*drydowns*” ocorrem -caracterizada pela escala de tempo de decaimento exponencial: τ - está diretamente relacionada à forma da função de perda. Neste estudo, utilizou-se um ano de dados da missão *Passive Active Passive* (SMAP) da NASA para caracterizar τ globalmente. Consistente com o raciocínio físico, as observações mostram que τ é menor em regiões com solos mais arenosos e em regiões mais áridas.

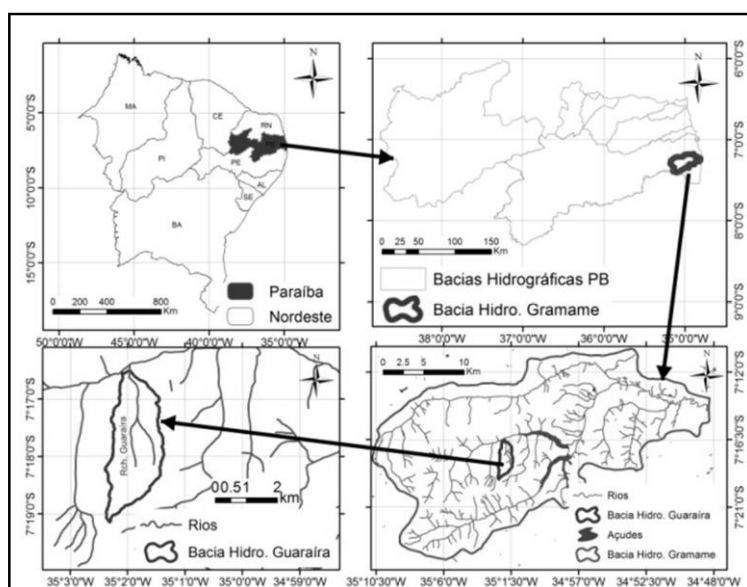
Nota-se, portanto, a atualidade e importância desse tipo de estudo, visto que são muito recentes, além de possuir influências primordiais para os mais diversos processos do ciclo hidrológico. No Brasil, por sua vez, não foram encontradas análises deste teor, ressaltando, ainda mais, a relevância da pesquisa em escala local. Prever como ocorre a perda de água por cada tipo de solo, dentro de uma lista de particularidades, vem a ser útil para diversos desdobramentos da gestão de recursos hídricos.

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição da área de estudo

Para desenvolvimento da pesquisa, a área de estudo foi a bacia experimental do riacho Guaraíra (BERG), que foi instalada na bacia hidrográfica representativa do rio Gramame, que se trata, da perspectiva hidrológica, bastante representativa das bacias litorâneas do Nordeste brasileiro, mostrada na Figura 1. É válido ressaltar que a bacia experimental se encontra localizada parte no município de Pedras de Fogo e parte no município de Alhandra, entre as coordenadas UTM Norte 9.190,80 km e 9.195,25 km, e Leste 274,50 km e 277,00 km (SIRGAS 2000), distando cerca de 40 km de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, na região litorânea sul do estado.

Figura 1 - Localização da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra

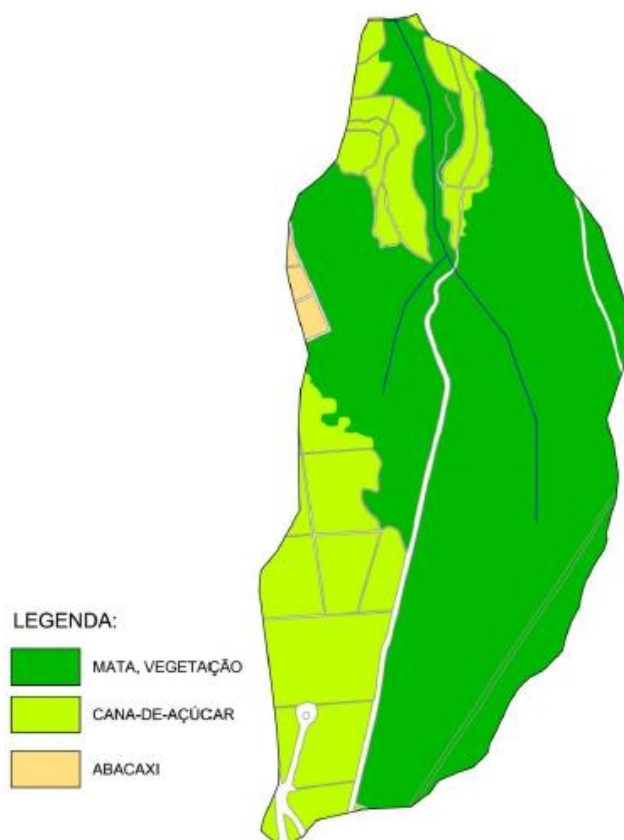


Caracterizando a bacia do riacho Guaraíra de acordo com critérios climatológicos, ressalta-se que o período chuvoso se concentra em cinco meses, compreendidos entre março e julho, com precipitação média anual de 1.700 mm. Segundo a classificação climática de Köppen, a região de estudo exibe características de clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com precipitação predominante de outono-inverno. O fato da região estudada encontrar-se próxima da linha do Equador determina altas temperaturas durante todo o ano, com média de 26°C, destacando-se que a média das máximas atinge 30°C no período de janeiro – abril e a média das mínimas chega a 23°C entre junho e agosto (Paraíba, 1985). Caracterizando, ainda, a bacia experimental, é válido salientar que a

evaporação, medida em tanque classe A na estação climatológica de Marés, apresenta um valor médio de 1.300 mm/ano.

A bacia experimental do riacho Guaraíra possui uma área aproximada de 5,84 km² e é composta por três afluentes perenes. Nesta área a maior concentração do uso antrópico do solo está na monocultura de cana de açúcar, com algumas áreas de plantações de abacaxi e, também, algumas pequenas estradas de terra. No entanto, existem remanescentes de vegetações de Capoeira e de Mata Atlântica (IBESA, 2004). Isto pode ser melhor visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Uso do solo na Bacia Experimental



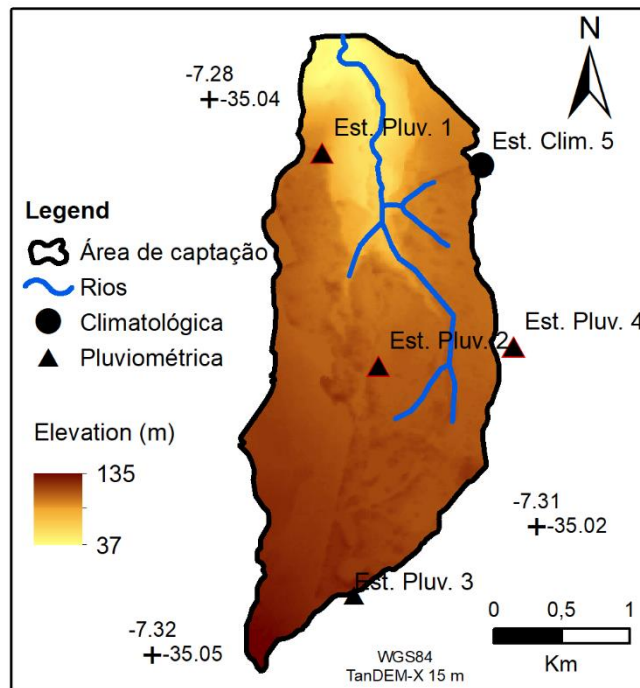
(Fonte: Lira, 2015)

Relativo ao relevo, é possível observar de acordo com as curvas de nível, que a altitude da bacia experimental do riacho Guaraíra varia de 170 metros em seus pontos mais altos até 80 metros em seu exutório. Quanto á formação do solo, a maior parte da bacia hidrográfica está assentada sobre os sedimentos da Formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas. A partir da análise granulométrica do solo no entorno das estações de monitoramento, percebeu-se, que os solos dos postos de

monitoramento são bastante semelhantes. Dessa forma, a média das estações da bacia experimental em questão resultou em aproximadamente 50% de areia grossa, 48% de areia fina e os 2% restantes de silte (LIRA, 2015). Essas porcentagens classificam o solo como arenoso, segundo o triângulo de classificação textural de solos.

A bacia experimental do riacho Guaraíra pode ser melhor visualizada, com suas características de relevo, hidrografia e localização das estações de monitoramento na Figura 3. A rede de monitoramento é composta por quatro estações pluviográficas, uma estação climatológica e três estações linimétricas.

Figura 3 - Detalhamento das características da rede de monitoramento da bacia experimental



4.2 Monitoramento Hidrológico

Nas bacias experimentais, o acompanhamento das variáveis hidrológicas ocorre com resoluções espaciais e temporais altas, permitindo, desta forma, o maior detalhamento do estudo de tais características. O monitoramento hidroclimatológico da bacia experimental do riacho Guaraíra, que ocorre desde 2003, é realizado a partir das quatro estações pluviográficas existentes, as quais são equipadas com sensores de medição de precipitação do tipo pluviógrafo digitais de báscula (modelo TB4), uma sonda de medição da umidade do solo do tipo TDR (*Time Domain Reflectometry* - modelo CS616), estas sondas estão instaladas verticalmente no solo, na profundidade de 30 cm, e um datalogger, para armazenamento das informações monitoradas. Possui, ainda, uma estação climatológica equipada com sensor de

velocidade e direção do vento, um actinômetro, um termodigrômetro digital, um barômetro digital, um pluviógrafo de báscula, uma sonda de umidade do solo e geotermômetros instalados nas profundidades de 10, 20 e 40 cm no solo. Existe também na bacia experimental três estações fluviográficas, as quais registram o nível da água em riachos da bacia. Em maio de 2016, o nível estático do lençol freático passou a ser monitorado, inicialmente, em um piezômetro perfurado na Est. Pluv. 04. Nesta mesma data, a Estação Climatológica 05 parou de funcionar e foi desativada. Em maio de 2017, entrou em operação uma nova Estação Climatológica 06. Posteriormente, foram perfurados piezômetros também nas Est. Pluv. 02 e 03 e Est. Clim. 06. Em relação ao passo de tempo de armazenamento das informações, a estação climatológica armazena dados das variáveis a cada 15 minutos, enquanto que o nível d'água nos três rios monitorados e nos quatro piezômetros são armazenados a cada 15 minutos. Todas as estações de monitoramento dispõem de *datalogger*, painel solar, abrigo, regulador de voltagem e bateria. As características das estações estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das estações de monitoramento da bacia experimental.

ID.	Tipologia	Longitude (m)	Latitude (m)	Vegetação	Equipamentos
Est. Pluv. 01	Estação Pluviográfica	275.401,85 L	9.194.297,5 6 S	Mata Atlântica	Pluv. Digital e TDR
Est. Pluv. 02	Estação Pluviográfica	275.788,91 L	9.192.719,4 3 S	Poucas árvores	Pluv. Digital, TDR e Piezômetro
Est. Pluv. 03	Estação Pluviográfica	275.608,07 L	9.190.997,3 2 S	Poucas árvores	Pluv. Digital, TDR e Piezômetro
Est. Pluv. 04	Estação Pluviográfica	276.824,75 L	9.191.848,3 9 S	Quase sem vegetação	Pluv. Digital, TDR e Sonda de nível
Est. Clim.05	Estação Climatológica	276.555,55 L	9.194.206,26 S	Gramíneas	Pluv. Digital, TDR, Actinômetro, Sensor de velocidade e direção do Vento, Termodigrômetro digital, Barômetro e Geotermômetros
Est. Clim.06	Estação Climatológica	276.467 L	9.195.105 S	Capoeira	Pluv. Digital, TDR, Actinômetro, Sensor de velocidade e direção do Vento, Termodigrômetro digital, Barômetro, Sensor de Radiação, Nível estático, Piezômetros

Para realização do estudo, é imprescindível a obtenção das diversas variáveis hidrológicas. Com esta finalidade, são realizadas visitas periódicas à bacia para coleta de

dados armazenados nos dataloggers, além da inspeção e manutenção preventiva das estações de monitoramento, verificando as condições dos sensores instalados. De posse desses valores, transferem-se os mesmos para computadores no laboratório de Recursos Hídricos da UFPB, armazenando-os em banco de dados e efetuando análises através de planilhas desenvolvidas no Microsoft Excel, programada com sub-rotinas na linguagem *Visual Basic for Applications*, que possibilitam a supervisão visual das informações.

4.2.1 Monitoramento da Precipitação

Os dados obtidos a partir do acompanhamento da precipitação são de escala sub-horária, a cada minuto de ocorrência, instantânea, e acumulados a cada 6 horas. Estes registros são estabelecidos através do mecanismo do tipo *tipping bucket* do pluviógrafo digital, modelo TB4-L da *Campbell Scientific Inc.* utilizado nos postos da bacia, seu funcionamento é baseado no movimento da balança quando acumula água correspondente a sua precisão e, assim, aciona um componente magnético que gera pulsos transmitidos para serem armazenados no datalogger. É pertinente salientar que a balança que compõe este equipamento possui precisão de 0,254 mm de chuva precipitada, valor relativo a 0,01 polegada no sistema de medidas americano.

O comportamento da precipitação nas estações de monitoramento é bastante semelhante, ou seja, é possível afirmar que a precipitação ocorre de forma regular em toda a bacia hidrográfica, sendo a pluviometria local bem representada a partir de informações de qualquer um dos postos (BARBOSA, 2015).

4.2.2 Monitoramento da Umidade do Solo

Para obter dados de umidade do solo na bacia experimental, utilizaram-se dados obtidos das sondas TDR (*Time Domain Reflectometry* - modelo CS616), da *Campbell Scientific*, instaladas no local de estudo. Descrevendo melhor este equipamento, estas são dotadas de uma base epóxi de 5 cm e 2 hastes metálicas com comprimento de 30 centímetros. Sua instalação foi feita de forma vertical no solo, de modo a representar a umidade na camada superficial de solo de 30 centímetros, e ficam ligadas à bateria e um *datalogger*.

Tomando por base o manual da sonda empregada, a mensuração realiza-se a partir da reflectometria do volume de água no solo, sendo, portanto, uma maneira indireta de medição, a qual é sensível à permissividade dielétrica do material em torno das hastes metálicas. O funcionamento deste aparelho fundamenta-se em medir o tempo de deslocamento em

microssegundos (μs), denominado “período de retorno”, de um pulso eletromagnético ao longo de suas hastes, estes são emitidos de hora em hora. Este tempo de deslocamento é dependente da permissividade dielétrica do meio, que por sua vez é dependente da concentração de água no solo e das características do meio (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2012).

Estas sondas são utilizadas, portanto, para medir o conteúdo volumétrico de água no solo e registram informações a cada 60 minutos, que são armazenadas no *datalogger*. É importante ressaltar que quanto maior a quantidade de água neste solo, maior é a permissividade dielétrica, e, conseqüentemente, maior será o valor da constante dielétrica aferido.

Com o intuito de obter a umidade volumétrica do solo, faz-se necessário calibrar as sondas. Estes instrumentos foram calibrados a partir de dados obtidos em campo seguindo recomendações do próprio fabricante por Lira (2015). Este coletou amostras indeformadas do solo nas correspondentes estações monitoradas em diversas épocas e desempenhou diferentes ensaios para determinação da umidade conforme o método gravimétrico. Esta análise resultou em um conjunto de pontos (umidade volumétrica do solo x constante dielétrica do solo) para cada posto estudado, estes, por sua vez, foram plotados em gráficos com o propósito de determinar a equação mais adequada de ajuste dos pontos. As equações resultantes da calibração foram utilizadas para obter os dados de umidade que serão utilizados nas análises seguintes e estão dispostas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Equações de calibração das sondas TDR.

	Equação	R²
Est. Pluv. 01	$y = 0,0017x^2 - 0,0279x$	0,84
Est. Pluv. 02	$y = 0,0009x^2 - 0,0136x$	0,60
Est. Pluv. 03	$y = 0,0007x^2 - 0,0121x + 0,0466$	0,97
Est. Pluv. 04	$y = 0,002x^2 - 0,0675x + 0,5898$	0,96

(Fonte: Lira, 2015)

4.3 Escolha dos dados a serem utilizados na análise

Como supradito, o contínuo monitoramento das estações da bacia experimental, com obtenção de dados hidrológicos de qualidade trata-se de uma tarefa difícil. Para desenvolver esta pesquisa de forma satisfatória, é imprescindível a obtenção de dados ininterruptos a fim de realizar uma análise bem embasada, de preferência com diferentes anos hidrológicos para

comparação. Para isso, verificou-se a continuidade das informações e a situação da quantidade de dados de umidade do solo existentes em todos os postos monitorados através da Tabela 3.

Tabela 3 - Análise quantitativa, em percentual, da quantidade de dados brutos de umidade do solo das estações

	Est. Pluv. 01	Est. Pluv. 02	Est. Pluv. 03	Est. Pluv. 04
2003	58,60%	68,05%	68,07%	68,07%
2004	100,00%	100,00%	100,00%	3,65%
2005	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%
2006	99,99%	100,00%	7,27%	0,00%
2007	100,00%	86,85%	0,00%	68,96%
2008	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%
2009	51,48%	100,00%	0,00%	100,00%
2010	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
2011	0,00%	100,00%	0,00%	14,94%
2012	0,00%	33,48%	0,00%	29,86%
2013	80,88%	87,52%	57,13%	96,19%
2014	70,33%	72,43%	31,46%	100,00%
2015	99,60%	99,95%	81,00%	99,94%
2016	88,70%	100,00%	96,39%	100,00%

Para utilização dos dados de umidade, foi feita uma vasta análise e tratamento destes, retirando erros grosseiros aferidos que não condizem com situações possíveis diante da dinâmica natural da umidade do solo.

Apesar de possuir um vasto banco de dados de umidade do solo nesta bacia experimental, optou-se por fazer uma análise inicial, utilizando informações das estações pluviográficas 01 e 02, dos anos de 2004 a 2008 e 2015 para a primeira, e entre os anos de 2004 a 2011,2013, 2015 e 2016 para a segunda. Esta escolha embasou-se no fato desses períodos possuírem dados praticamente completos para os postos descritos, tornando possível fazer uma comparação entre os resultados. A localização das estações escolhidas para análise e o entorno de tais postos podem ser melhor visualizados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Destaque da localização das estações de monitoramento analisadas no estudo

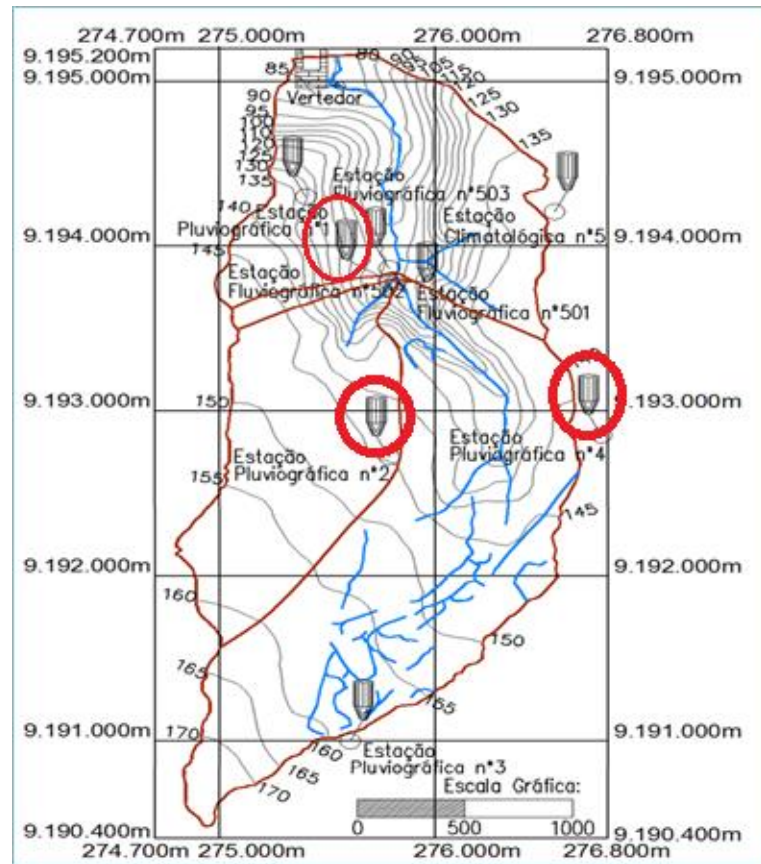
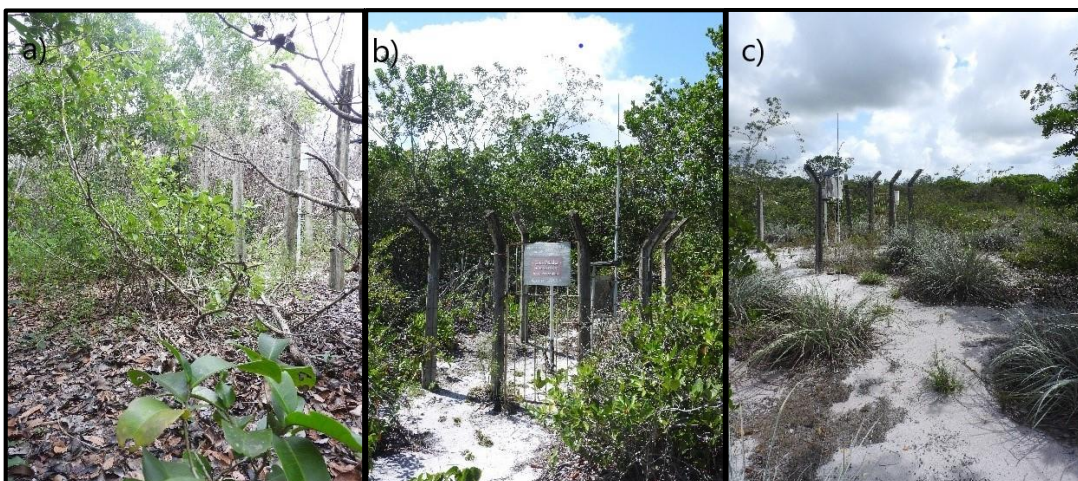


Figura 5 - Entorno das estações de monitoramento: a) Est. Pluv. 01 b) Est. Pluv. 02 c) Est. Pluv. 04



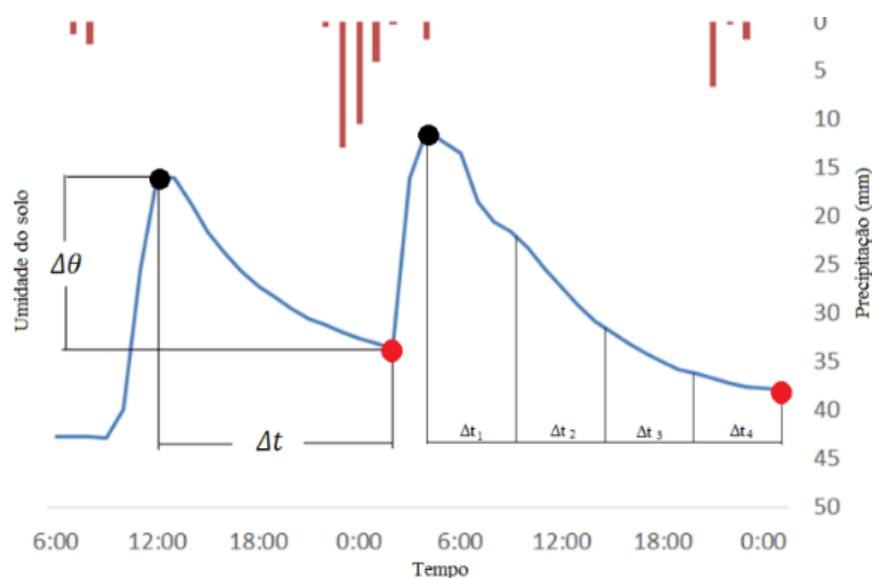
4.4 Determinação dos eventos de secagem

Para determinar eventos de secagem do solo, é necessário, primeiramente, calcular a umidade do solo a partir da constante dielétrica do solo, determinadas a partir da sonda TDR. De posse destes valores coletados em campo através do monitoramento hidrológico, aplica-os

às equações geradas por Lira (2015) descritas na Tabela 2 mostrada anteriormente, para determinar a umidade do solo em cada posto.

A fim de analisar o comportamento da variabilidade da umidade do solo durante o processo de secagem do solo, para os diversos períodos estudados, faz-se necessário identificar dois pontos limites que caracterizam um evento de secagem: pico e vale. O primeiro trata-se do ponto inicial do evento de umidade e é definido como o ponto de valor de umidade mais alto correspondente a um determinado evento de precipitação. Os vales são os pontos finais dos eventos de taxa de secagem e tratam-se dos pontos de menor valor de umidade de cada evento. Pode ser ainda, um ponto imediatamente anterior a um próximo pico referente a um evento chuvoso posterior. Estes podem ser melhor visualizados na Figura 6.

Figura 6 - Caracterização dos eventos de secagem do solo



(Fonte: Ramos, 2017)

Com o intuito de aumentar a acurácia da compreensão do comportamento dos eventos de taxa de secagem, estes foram divididos em quatro seções igualmente intervaladas, como se observa na Figura 6, a fim de interpretar de maneira individual o que ocorre ao longo de cada intervalo, analisando minuciosamente todo o evento.

4.5 Exclusão de eventos de secagem

Por se tratar de uma grande quantidade de dados, é necessária a programação de planilhas no *Excel*, através do uso de *Visual Basics for Applications* (VBA), para tornar possível a seleção de eventos de secagem de forma automática.

Foi necessário excluir os eventos que possuem variação de umidade do solo ($\Delta\theta$) menor que 0.3%, visto que de acordo com o manual do fabricante, a precisão do equipamento de medição é por volta deste valor, constantando-se, portanto, que estes eventos encontrados são decorrentes de ruídos ou oscilações da sonda TDR. Foram eliminados, ainda, eventos com duração (Δt) inferiores a 4 horas, ou seja, que possuíam menos que quatro informações acerca da umidade do solo, isto decorre da impossibilidade de analisar eventos desta natureza na divisão por quartis.

4.6 Descrição das análises

A fim de compreender o que ocorre na secagem do solo das estações monitoradas, o principal parâmetro analisado foi a taxa de secagem, que é calculada através da Equação 01. Esta foi determinada para cada evento ao longo de toda sua duração e variação de umidade, assim como para cada um dos quatro intervalos pela divisão da diferença entre os valores de umidade que delimitavam o intervalo ($\Delta\theta$), e o período do intervalo em questão (Δt).

$$\text{Taxa de secagem} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1)$$

Explorou-se, também, outras características dos eventos como: duração, em horas, variação da umidade do solo, em porcentagem, umidade inicial do solo, em m^3/m^3 , as quais permitem especificar possíveis particularidades de cada posto monitorado. Para cada caso foi feita a estatística descritiva correspondente.

Foi possível perceber diante das investigações, que o comportamento do solo era diverso de acordo com a estação do ano em que se encontrava, chuvosa ou não. Assim, realizaram-se análises distintas para períodos de menores e maiores valores de umidade do solo, aqui classificados como condições do solo “secas” e “úmidas”, respectivamente. Utilizou-se um critério para cada evento onde, valores de umidade de solo iniciais, superiores a 15% caracterizavam condições “úmidas” do solo. Do contrário, foram considerados estados “secos”.

A seleção dos eventos de secagem do solo foi feita baseada, apenas, na variação da umidade, no entanto, sabe-se que estas alterações ocorrem devido aos eventos chuvosos, e por isso, a precipitação acumulada de 24 horas antecedentes ao início do evento e a precipitação acumulada durante o evento de secagem foram novos parâmetros adicionados à pesquisa. Analisando todo o conjunto de dados encontrados, foi possível distinguir dois grupos: aqueles que possuem precipitação acumulada durante o evento menor ou igual a 10,16 mm (grupo

01), e aqueles que possuem maior que 10,16 mm (grupo 02). Estes valores foram determinados a partir da observação do comportamento da umidade do solo de acordo com a seleção de eventos e refere-se ao total de quarenta basculadas (precisão) do pluviógrafo de báscula.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Monitoramento Hidrológico

A manutenção de uma rede de monitoramento de variáveis hidrológicas trata-se de uma tarefa difícil, bem como a obtenção de séries contínuas de dados hidrológicos com qualidade, devido a diversos obstáculos já previamente discutidos. As informações utilizadas foram obtidas a partir da bacia experimental do riacho Guaraíra.

5.1.1 Monitoramento da Precipitação

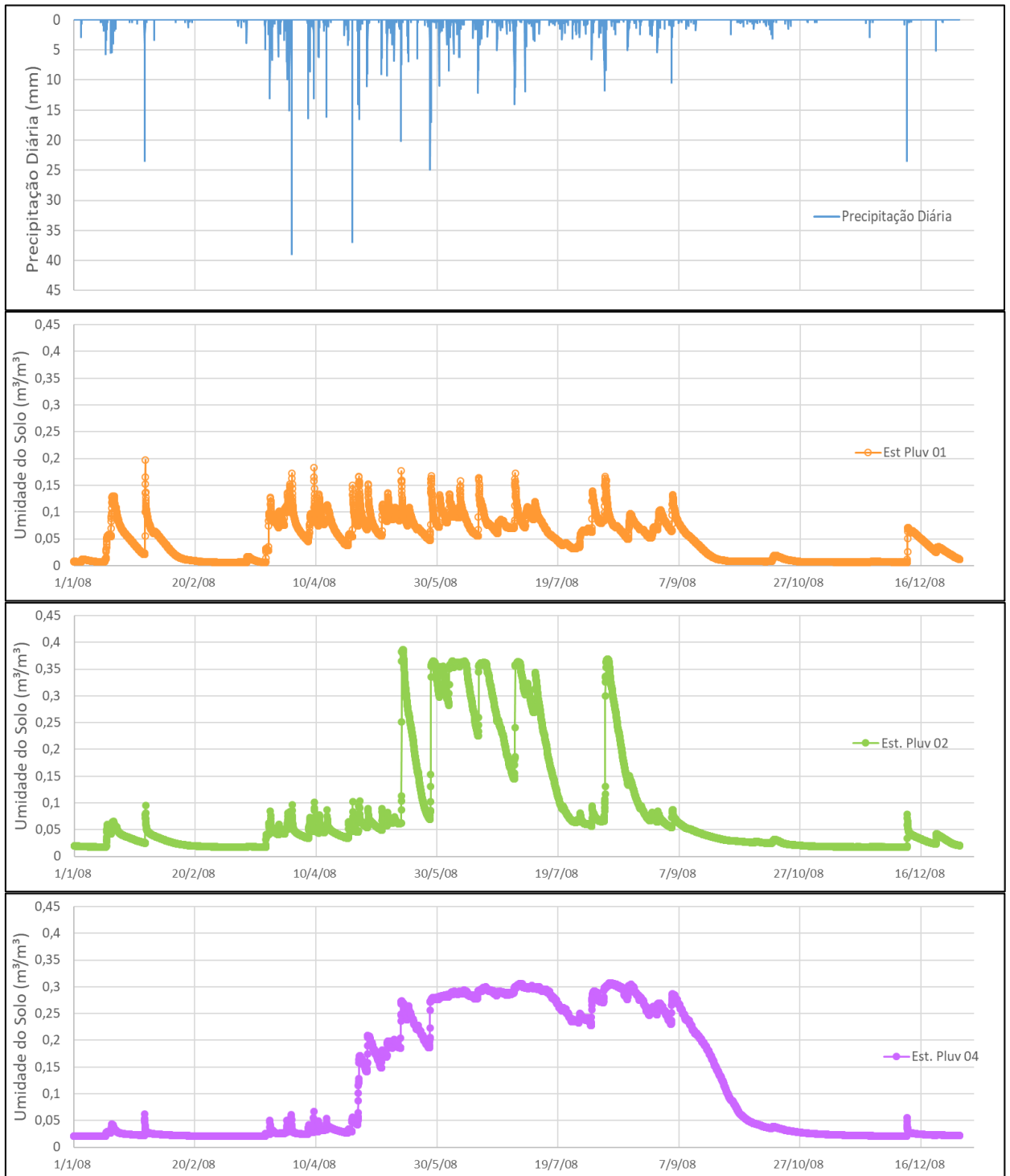
De posse dos dados pluviométricos das estações de monitoramento, realizou-se uma verificação nos resultados observados a partir de cada posto, para identificar possíveis falhas nas medições. Com o intuito de prevenir a ocorrência de problemas na medição das variáveis, empregam-se os seguintes métodos nas visitas de campo: verificar se o funil do pluviógrafo está obstruído, se a voltagem da bateria está funcionando normalmente, observa-se, ainda, se o datalogger necessita de troca de bateria interna a fim de evitar a interrupção do armazenamento de dados. Comparam-se os resultados entre as estações, e, a partir disso, escolhe aquela que tiver os dados de precipitação mais representativos para a precipitação ano a ano.

5.1.2 Monitoramento da Umidade do Solo

Como visto anteriormente, a área da bacia experimental estudada é relativamente pequena, sendo de 5,84 km², esta possui distribuição de chuvas bastante homogênea por toda sua extensão, no entanto, a dinâmica da umidade do solo é divergente entre os pontos de monitoramento. É possível observar esta variação da umidade do solo ao longo do ano 2008 e a respectiva precipitação ocorrida durante este período.

A partir da Figura 7, ressalta-se o comportamento distinto da umidade do solo para cada posto de monitoramento, sendo os seguintes fatores prováveis de influenciarem nesta dinâmica: a cobertura vegetal, a textura, a granulometria do solo, o nível estático do lençol freático, dentre outros.

Figura 7 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2008 na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra em cada estação de monitoramento.



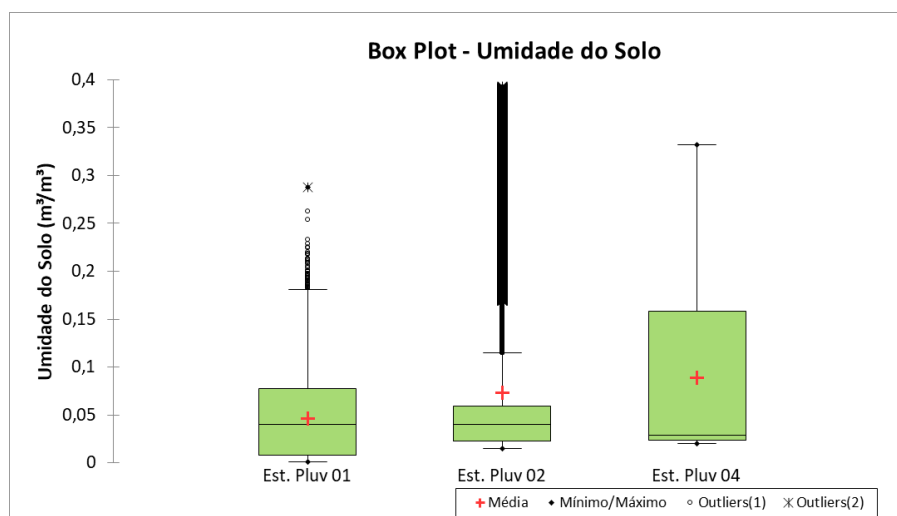
É possível observar que para o ano 2008, o valor mínimo de umidade do solo observado foi na Estação 01, sendo este de $0,0053 \text{ m}^3/\text{m}^3$, seguido da Estação 02 com valor de $0,0171 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e por fim, a Estação 04 com $0,0204 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Por outro lado, a Estação 02 obteve o resultado máximo que foi de $0,386 \text{ m}^3/\text{m}^3$, em sequência foi a Estação 04 com $0,31 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e

por último a Estação 01 com $0,1974 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Nota-se, ainda, de acordo com a Figura 7 que as estações 01 e 02 exibem respostas mais rápidas quando comparadas com a estação 04, visto que o processo de umedecimento e secagem do solo ocorrem de forma mais acelerada, alcançando valores de pico e retornando ao seu estado inicial em intervalos de tempo curtos.

Por meio do *scattergram*, ou seja, da dispersão dos dados, obtido a partir de todos os dados de umidade utilizados, nota-se que a maior quantidade de informações se concentra nos valores mais baixos de umidade, ressaltando todo o período seco de cada estação. A Estação 02, por sua vez, é a que possui a maior variabilidade de valores ao longo deste período analisado. Este fato ratifica o aumento da umidade do solo ocorrer rapidamente durante o período chuvoso, e retornar à condição seca na Estação 02, pela segregação dos dados para valores acima de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Na Estação 04, no que lhe concerne, tais processos ocorrem de maneira mais lenta, sendo comprovado pela maior compactação de informações.

Com o intuito de realizar a análise da taxa de secagem do solo na bacia experimental citada, é necessário um banco de dados com sequências longas. A partir das informações disponíveis para cada estação monitorada em cada ano, escolheram-se quais seriam utilizados. Na Figura 8 está mostrada a variação da umidade do solo para cada estação pluviográfica ao longo dos respectivos anos que possuem dados completos, estas análises de estatística descritiva são mostradas através de gráficos do tipo *Box-plot*. Este tipo de diagrama corresponde a um retângulo definido pelo primeiro e pelo terceiro quartis ($Q1$ e $Q3$, respectivamente), estando contida a mediana em seu interior. A partir do lado superior do retângulo (terceiro quartil), traça-se uma linha até o ponto que não exceda ($Q3+1,5(Q3- Q1)$). De modo análogo, traça-se outra linha a partir do lado inferior do retângulo (primeiro quartil) até o limite dado por ($Q1-1,5(Q3- Q1)$). As informações que estiverem acima ou abaixo desses limites são identificadas no diagrama e consideradas *outliers* ou valores atípicos.

Figura 8 - Boxplot com o maior período de dados de umidade do solo disponíveis para cada estação de monitoramento



De acordo com toda a série de dados de umidade do solo disponíveis para os três postos de monitoramento, pode-se visualizar a partir da Figura 8, que a Estação Pluviográfica 01 mostrou os menores valores de umidade do solo ($0,0007 \text{ m}^3/\text{m}^3$), seguida da 02 ($0,0148 \text{ m}^3/\text{m}^3$) e por último a 04 ($0,020 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Por outro lado, a Estação 02 apresentou o maior valor de umidade do solo para o período analisado ($0,393 \text{ m}^3/\text{m}^3$), depois a 04 ($0,332 \text{ m}^3/\text{m}^3$) e por fim a 01 ($0,288 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Nota-se, ainda, que a Estação 02 possui a maior parte de seus valores baixos, estando, portanto, próximo ao seu estado seco.

Para aplicar a metodologia descrita relativa à taxa de secagem, optou-se por utilizar dados de dois postos de monitoramento, com o objetivo de comparar os resultados obtidos em cada um deles. Optou-se, para a Estação pluviográfica 01, os anos entre 2004 e 2008, e ainda, o ano de 2015, por possuírem praticamente todos os dados deste período. As únicas ressalvas foram relativas ao ano de 2006, o qual continha apenas uma informação perdida, que foi complementada a partir da média aritmética entre o dado anterior e o posterior ao faltoso, e o ano de 2015 possuía falhas unicamente nos dois primeiros dias do ano, não afetando o uso do restante do período.

Em relação a Estação pluviográfica 02, todos os anos entre 2004 e 2011 foram usados, a análise do ano de 2007 foi feita, entretanto, com algumas ressalvas, visto que não se tinha dados completos referentes a este intervalo de tempo. As informações dos anos 2013, 2015 e 2016 também foram estudadas, sendo que o ano de 2015 apresentava algumas falhas, as quais foram corrigidas da mesma forma descrita anteriormente. A Tabela 4 expõe os anos utilizados na metodologia deste trabalho.

Tabela 4 - Resumo dos anos com informações utilizados na metodologia proposta

Estações	Est Pluv. 01	Est Pluv. 02
Anos	2004 – 2008 2015	2004 – 2011 2013 2015 - 2016

5.2 Eventos de Secagem

Aplicando a metodologia proposta, contabiliza-se a quantidade de eventos que serão utilizados neste estudo. Foram divididos os seguintes períodos para análise: o período total com todos os eventos encontrados, dividiu-se este em dois períodos: úmido e seco. Para tal divisão, o critério utilizado foi a partir da umidade do solo inicial do evento. Separou-se, ainda, em dois grandes grupos o total de eventos encontrados, denominados aqui de grupo 01 e 02, a precipitação durante o evento de seca é menor ou igual a 10,16 mm de chuva no primeiro conjunto, enquanto que no segundo é maior que 10,16 mm. Assim, para cada abordagem encontrou-se quantidade de eventos diferentes, de acordo com os critérios descritos adotados para cada delimitação de eventos. Esta pode ser melhor visualizada na Tabela 5.

Tabela 5 - Número de eventos encontrados a partir de cada critério utilizado

Período	Estação Pluv. 01	Estação Pluv. 02
Total	544	896
Seco	452	705
Úmido	92	191
Grupo 01	482	792
Grupo 02	62	104

É fácil perceber que a maior parte dos eventos ocorrem no período denominado seco na bacia experimental para ambas as estações. Para a Estação 01 foram analisados 544 eventos, sendo 83,1% dos eventos ocorrem no período seco, ou seja, a umidade inicial do solo no evento não é superior a 15%. Enquanto que apenas, 16,9% dos eventos ocorrem no período úmido. Já para a Estação 02, foram 896 eventos e a relação é de 78,7 % para o seco, e 21,3 % para o úmido. Esta diferença de número de eventos entre as duas estações é consequência da quantidade de dados analisados, uma vez que o período de informações na estação 02 é maior.

Observando detalhadamente os dados de umidade do solo e, também, os eventos de secagem selecionados, notaram-se erros de informação referente aos dados de umidade

relativos à meia noite. Estas inconsistências tratavam-se de picos de alta ou baixa valores de umidade do solo que não condizem com a dinâmica natural do solo. Tais erros podem ser vistos nas Figura 9 e Figura 10, respectivamente, para um pico de baixa de umidade do solo e alta.

Figura 9 - Dinâmica da umidade do solo com erro grosseiro de medição para pico de baixa

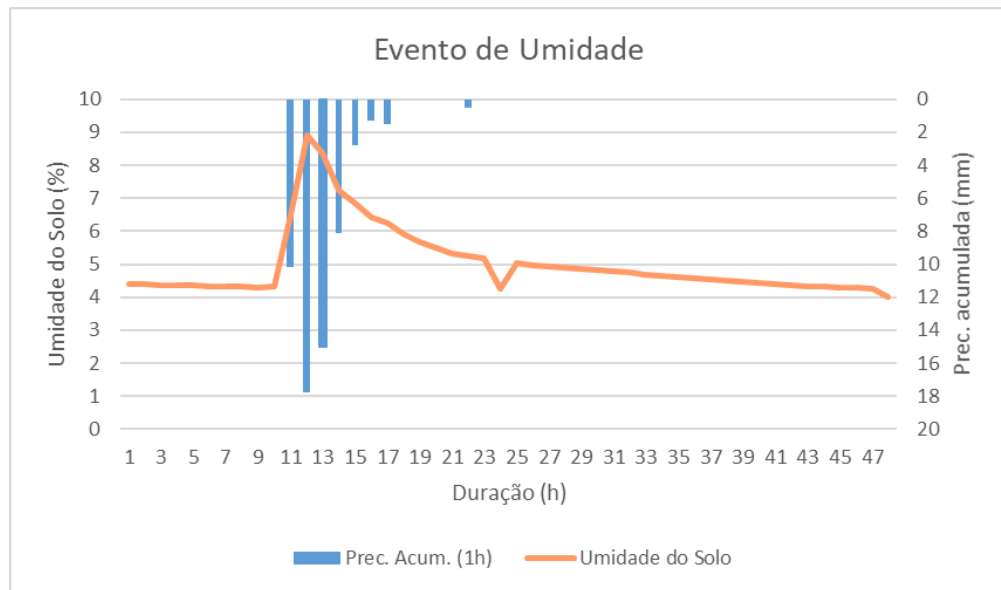
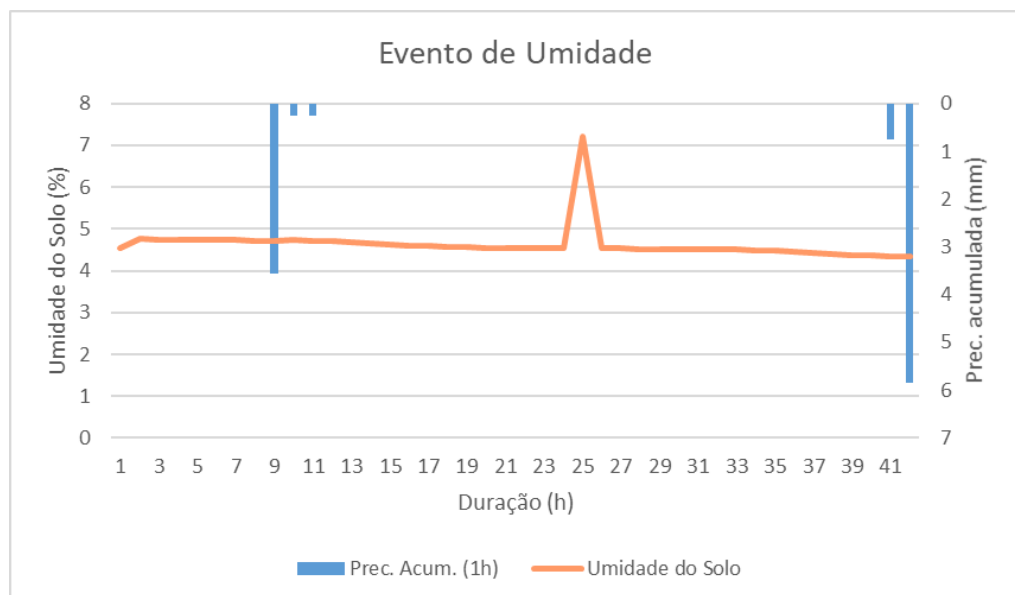


Figura 10 - Dinâmica da umidade do solo com erro grosseiro de medição para pico de alta



Constata-se, ainda, a partir da Figura 9 e Figura 10, que tais mensurações interferem diretamente na definição dos eventos de secagem a partir da metodologia aplicada neste trabalho, visto que estes pontos errôneos consistem em possíveis pontos limites na separação

dos eventos de secagem, podendo vir a ser pontos de pico ou vale, alterando de maneira significativa os resultados. Por isso, determinou-se que o valor de umidade do solo à meia noite seria a média aritmética entre os valores antecedente e posterior a este.

A partir das Figura 11 e Figura 12, é possível verificar que estas correções são necessárias para evitar a separação errônea dos eventos de secagem dentre os dados de umidade do solo, pois mostram como ocorre realmente o evento após a referida correção. No primeiro caso, o valor equivocado tornava-se um vale e dividia, assim, o evento em dois. Na segunda situação, a medição errada tornava-se um ponto limite de pico, segmentando novamente o evento de secagem.

Figura 11 - Evento de Umidade após correção de erro grosseiro de baixa

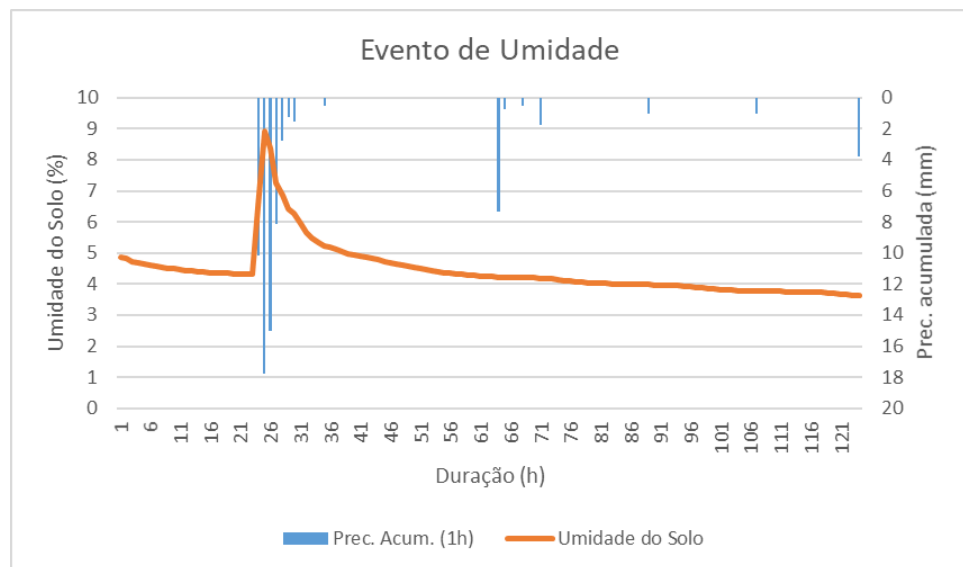
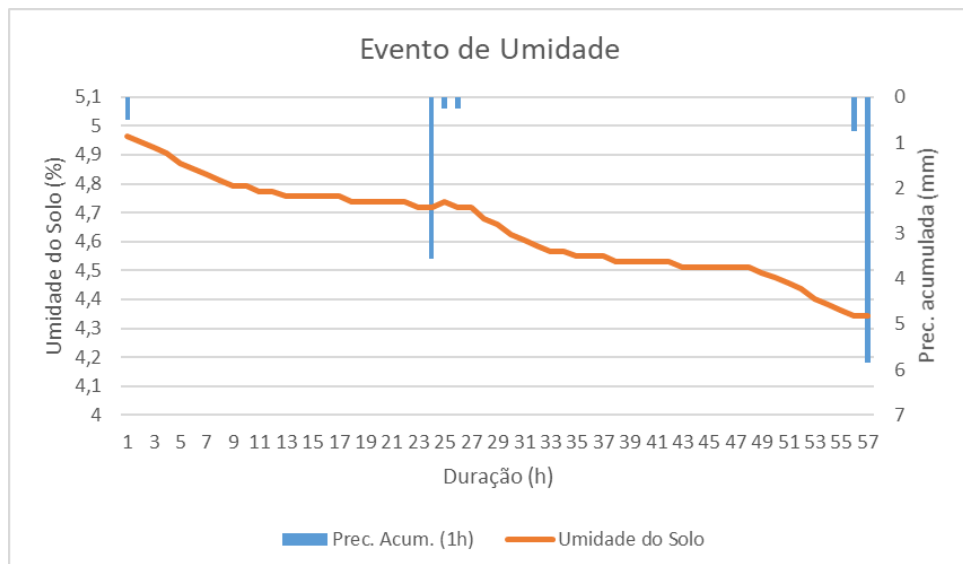
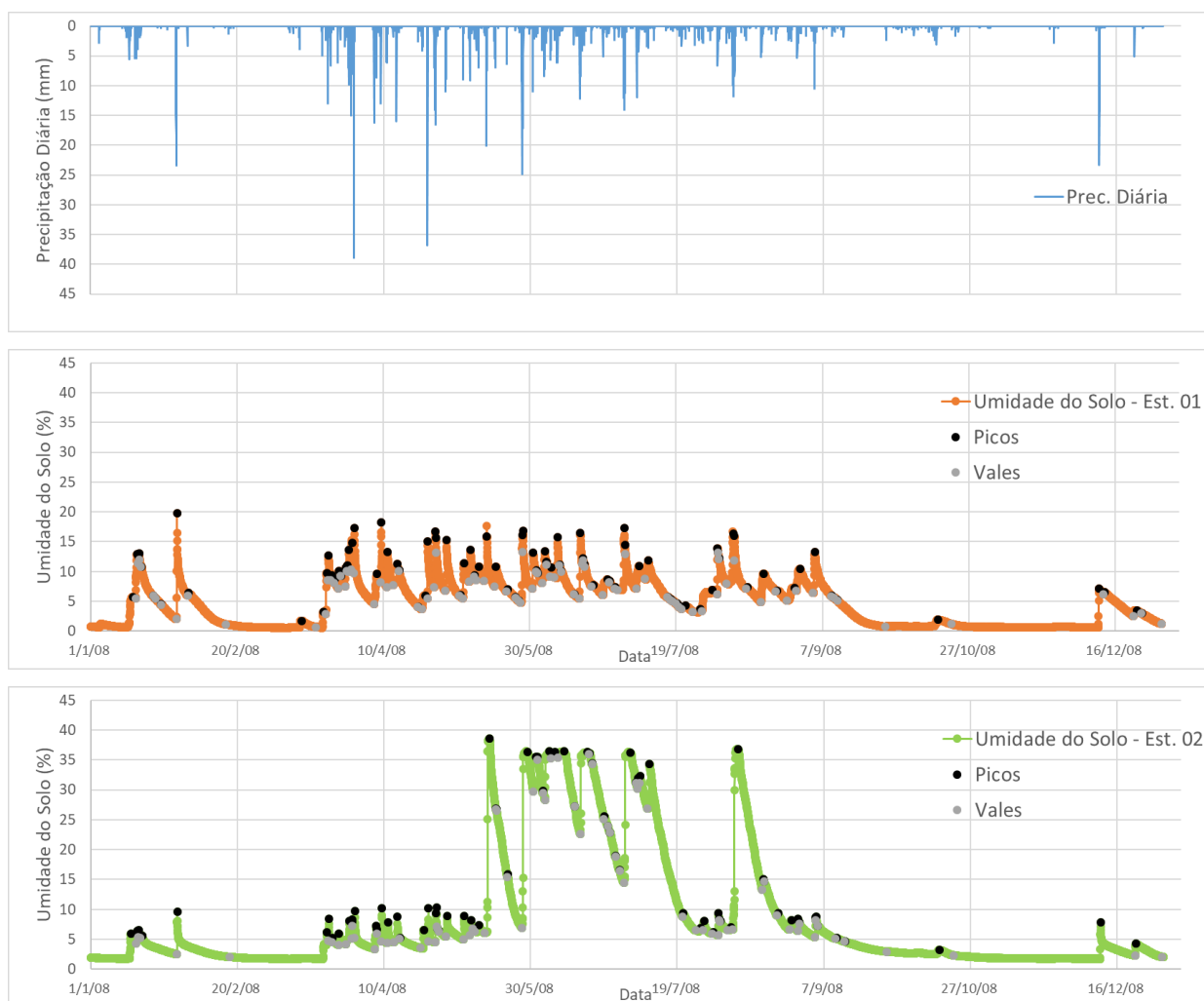


Figura 12 - Evento de Secagem do solo após correção de erro grosseiro de pico



A Figura 13 apresenta a dinâmica da umidade do solo para o ano de 2008 nas estações analisadas para a metodologia de estudo de secagem do solo, como também, os registros subhorários de precipitação acumulados em uma hora nesse mesmo período. Estão ainda demarcados os picos e vales de todos os eventos de secagem encontrados para este ano. A partir da Figura 13, ainda, é possível observar valores relativos à umidade mais elevados, caracterizando os períodos denominados, nesta discussão, de úmidos, justificando, desta forma, a realização de análises distintas para esse período e aquele nominado seco, visto que o comportamento destes não pode ser considerado similar.

Figura 13 - Dinâmica da umidade do solo com destaque para eventos de secagem



5.3 Determinação das Variáveis

De acordo com a Tabela 5, é possível notar que há uma grande diferença na quantidade de eventos de acordo com cada critério de separação em períodos utilizado.

Conseqüentemente, ocorrem modificações nas variáveis calculadas.

5.3.1 Variáveis calculadas para todos os eventos

Inicialmente, para todos os eventos encontrados ao longo do período estudado, calcularam-se as variáveis: variação de umidade, duração e taxa de secagem. É possível observar que as variações de umidade média entre as duas estações analisadas resultaram em valores bem próximos, 2,72 ($10^{-2}m^3/m^3$) para a estação 02, enquanto que para a estação 01 foi de 2,73($10^{-2}m^3/m^3$). Referente à duração do evento de umidade, foi possível perceber que a média para o posto 01 foi de, aproximadamente, 63 horas, já para o 02 foi de 76 horas. Os valores máximos de duração dos eventos foram 502 e 453 horas para a estação 01 e 02, respectivamente. Para a taxa de secagem, encontrou-se um maior valor médio para a estação 01 de 0,131 ($10^{-2}m^3/m^3$) e para a estação 02, 0,103 ($10^{-2}m^3/m^3$). Os resultados em formas de gráficos “Box-plots” estão dispostos nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

Figura 14 - Variação da Umidade do Solo para todos os eventos nas estações analisadas

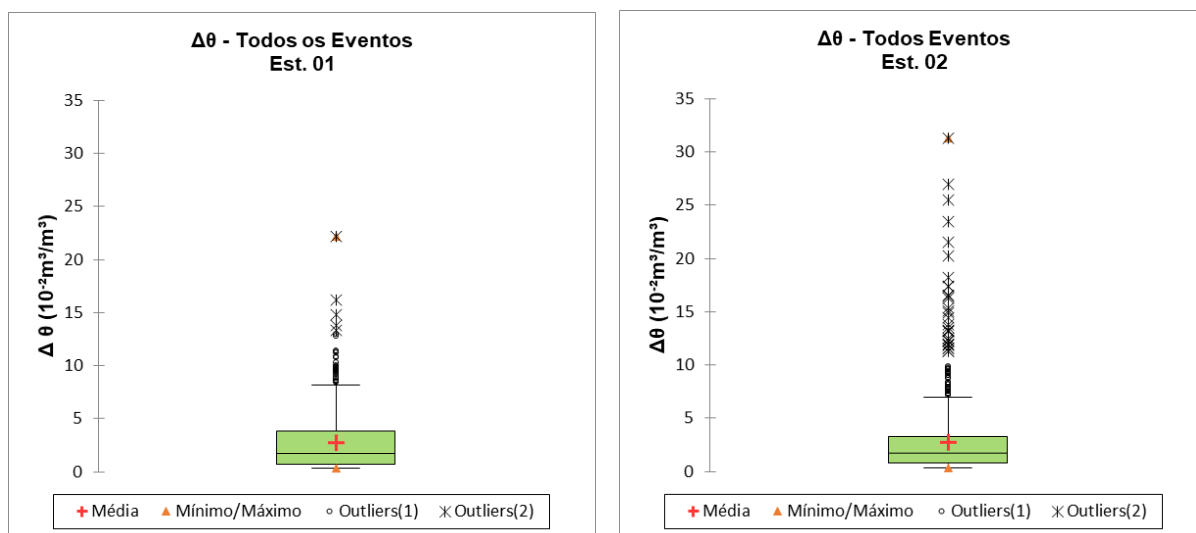


Figura 15 - Variação da duração para todos os eventos nas estações analisadas

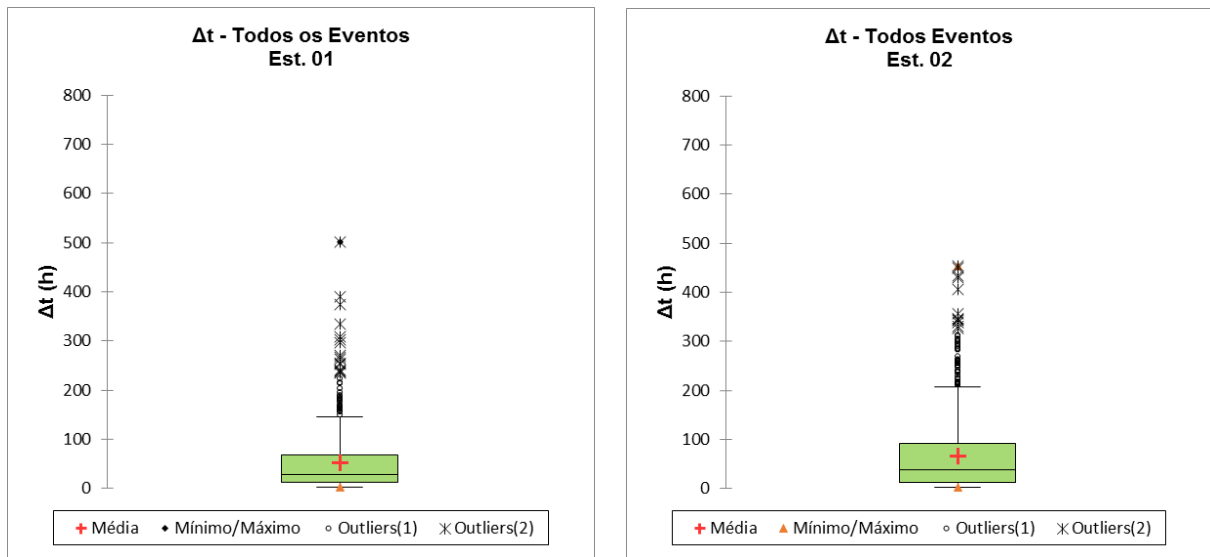
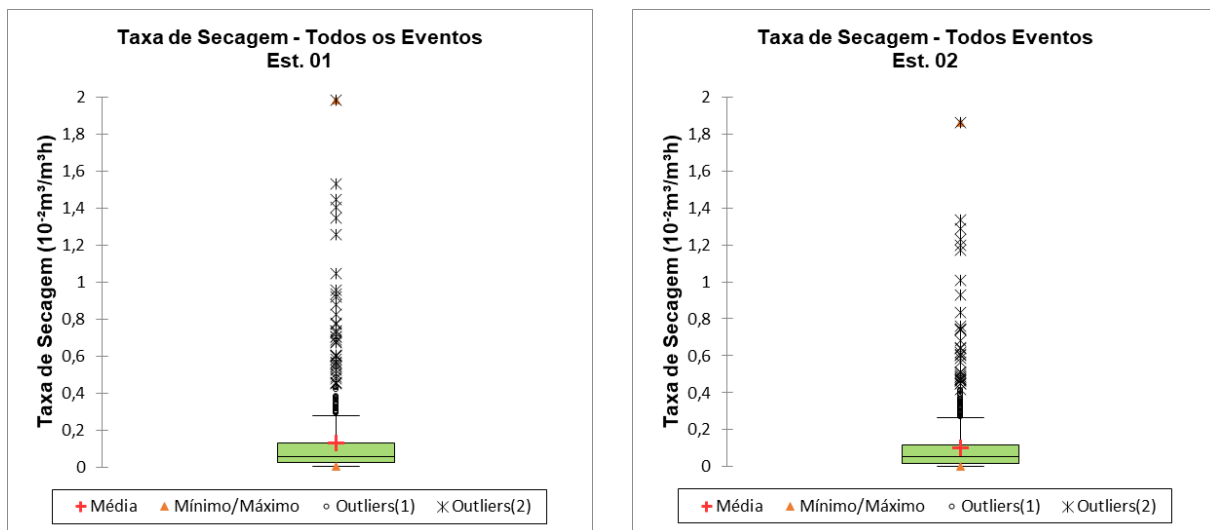


Figura 16 - Variação da Taxa de Secagem para todos os eventos nas estações analisadas



Esta análise, entretanto, ainda é muito ampla devido a quantidade de dados e a divergência que ocorre no volume de chuvas ao longo do ano, podendo, desta forma, não representar fidedignamente o que ocorre na realidade. Por esta razão, optou-se por adotar dois períodos diferentes, denominados neste trabalho de úmido e seco.

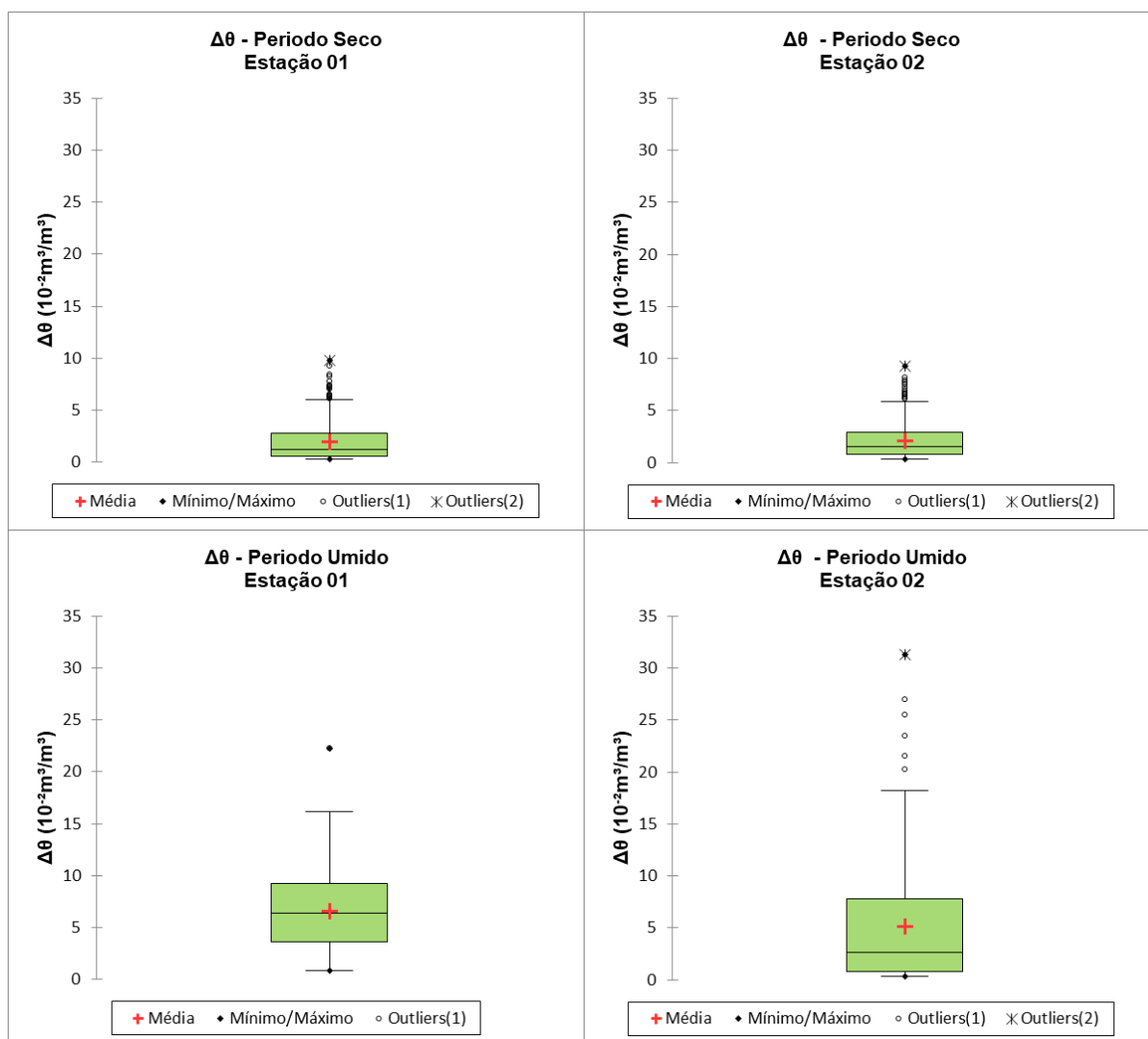
5.3.2 Variáveis calculadas nos períodos secos e úmidos

Como supradito, ao explorar a enorme quantidade de dados, foi possível perceber que existiam dois períodos distintos ao longo de um ano de observações. Como a quadra chuvosa na bacia experimental do riacho Guaraíra é bem definida, há um período em que a umidade

do solo alcança valores mais altos devido ao maior volume de precipitação, assim como, o inverso ocorre. Dessa forma, delimitou-se que o período seco seria aquele em que os valores de umidade do solo inicial não ultrapassariam 15%, enquanto o úmido, os que superassem este limiar.

A média da variação de umidade do solo sofreu grandes alterações quando comparamos os períodos e as estações. Na Estação 01, a média desta variável foi de 1,94 ($10^{-2}m^3/m^3$) no período seco, enquanto no período úmido foi de 6,61 ($10^{-2}m^3/m^3$). Por sua vez, a Estação 02, teve valor de 2,05 ($10^{-2}m^3/m^3$) e 5,17($10^{-2}m^3/m^3$) para os respectivos períodos. Nota-se, também, a maior variabilidade de valores para ambos postos no período úmido. Pode-se melhor visualizar tais resultados na Figura 17.

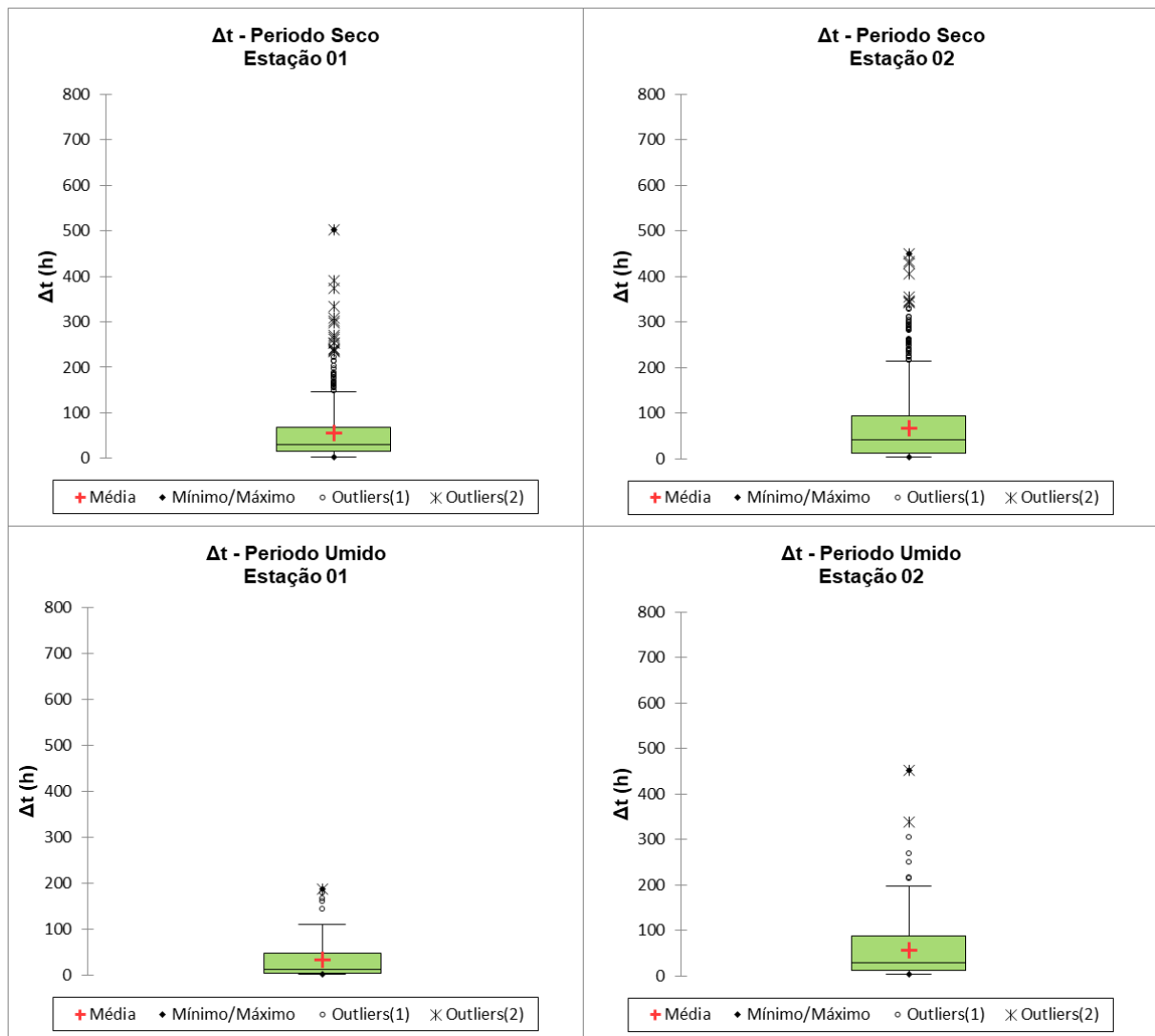
Figura 17 - Variação de Umidade do Solo para diferentes períodos e estações.



Analisando a duração dos eventos, é notório que no período seco têm-se a média de

valores maiores para esta variável, assim como a variabilidade, nas duas estações investigadas. Corroborando que neste período, como há um menor volume de precipitação, o evento de secagem tende a ser maior. Pode-se observar de maneira mais clara através da Figura 18.

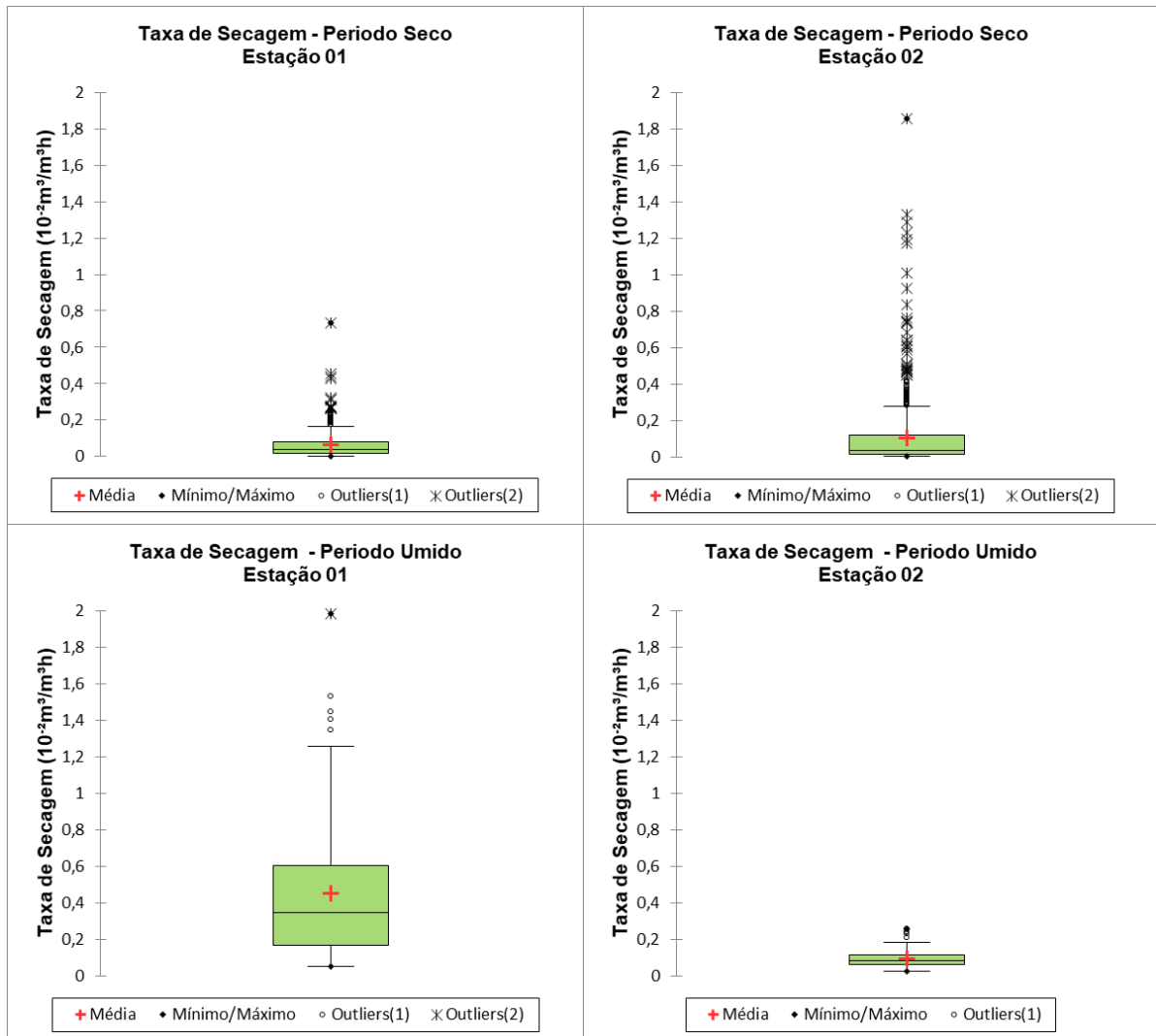
Figura 18 - Variação da duração dos eventos para diferentes períodos e estações.



Quanto à taxa de secagem, observa-se que o desempenho referente tanto às estações quanto aos períodos é divergente entre si. Na estação 01, ocorre uma pequena variabilidade no período seco, com valor médio de 0,07 ($10^{-2}m^3/m^3h$), já no período úmido a versatilidade é maior, como também a média, que é de 0,45 ($10^{-2}m^3/m^3h$). Desta forma, afere-se que a velocidade de secagem no intervalo úmido de eventos é consideravelmente maior que no seco, cerca de seis vezes superior. Para a estação 02, percebe-se que a variabilidade para os dois períodos pesquisados é baixa, existindo, no entanto, uma quantidade apreciável de

valores extremos no período seco. Os valores médios são bastante similares, neste posto pluviográfico, tendo sido estimados em 0,11 ($10^{-2}\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$), para o intervalo seco, e 0,09 ($10^{-2}\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$), para o úmido. A Figura 19 a seguir exhibe os referidos resultados.

Figura 19 - Variação de taxa de secagem para diferentes períodos e estações.



5.3.3 Divisão dos eventos em quartis

Com o intuito de analisar melhor a secagem durante o evento, este foi dividido em quatro partes iguais para que desta forma a investigação acerca da perda d'água pelo solo fosse feita de maneira mais refinada e tal comportamento fosse melhor compreendido. Esta metodologia foi aplicada tanto para os valores calculados de taxa de secagem, ou seja, de velocidade de secagem do solo, quanto para os valores de umidade do solo entre os limites de cada intervalo. Estes resultados podem ser vistos nas Figura 20 e Figura 21, onde nota-se o comportamento exponencial de decaimento dos valores de umidade do solo ao longo do

tempo. É válido ressaltar que o primeiro intervalo para as duas estações é o que possui maior variabilidade de valores, enquanto o último a menor, percebendo-se, assim, a tendência de estabilizar a perda de água contida no solo.

Os valores médios para a taxa de secagem em cada intervalo são maiores para a estação 01, mostrando que o solo de tal localidade tem como característica perder água mais rápido quando comparado ao da estação 02.

Figura 20 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para todos os eventos: Estação 01

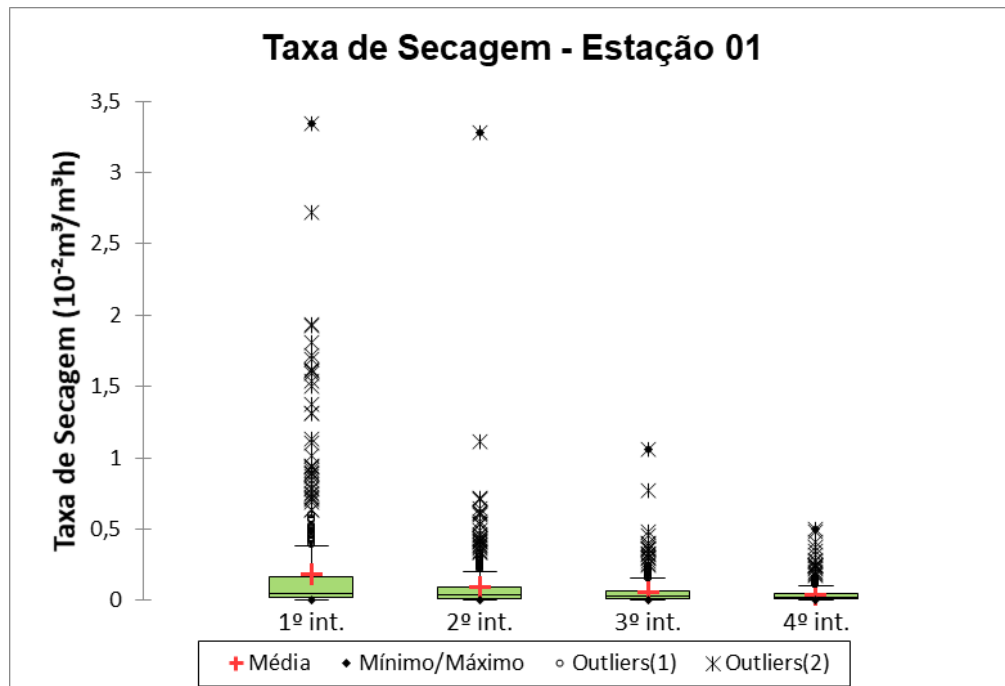
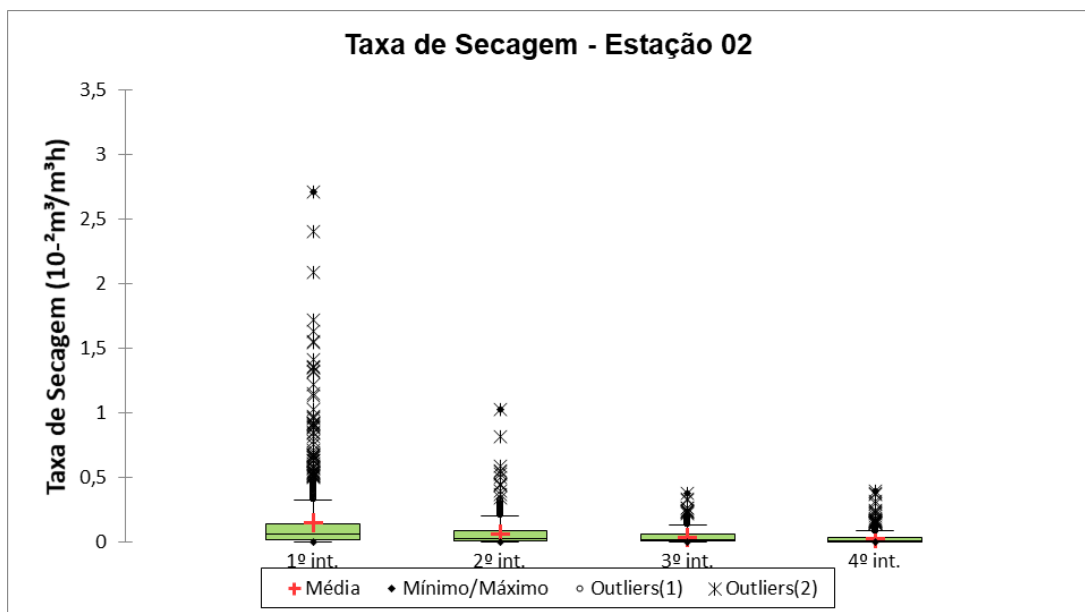


Figura 21 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para todos os eventos: Estação 02



Para a umidade do solo, notou-se que a estação 02 obteve valores de média bem mais altos quando comparados a estação 01. É válido ressaltar que a maior variabilidade ocorre no primeiro quartil para as duas estações, e diminui ao passo que caminha em direção ao último intervalo, como pode ser visto nas Figura 22 e Figura 23.

Figura 22 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para todos os eventos: Estação 01

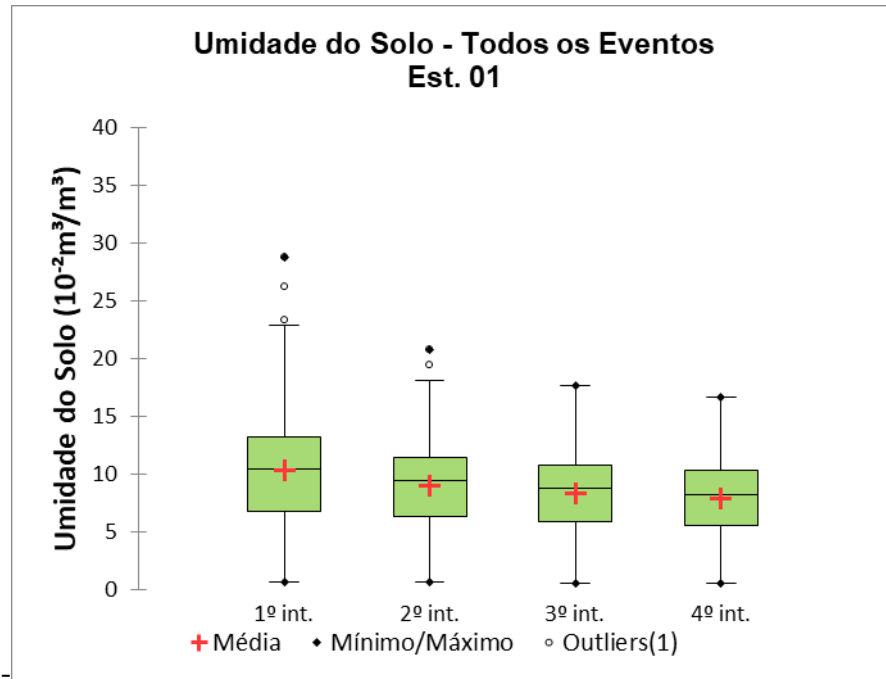
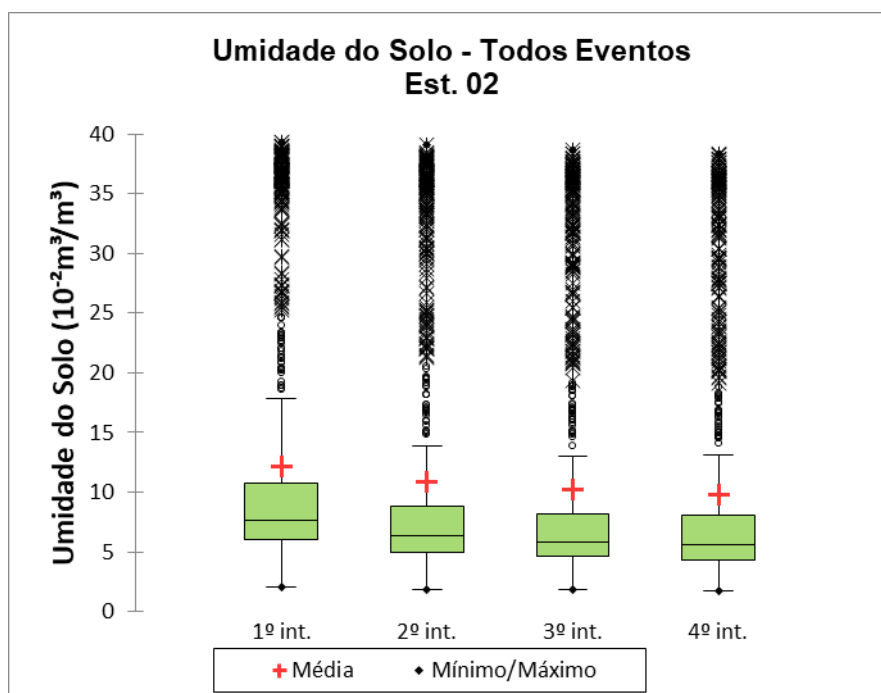


Figura 23 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para todos os eventos: Estação 02



5.3.3.1 Divisão dos eventos em quartis e em períodos

Como visto anteriormente, o tratamento da mesma forma de todos os eventos é adequado para se ter uma visão geral do comportamento da umidade do solo. Entretanto, para obter-se resultados mais bem representativos da realidade, é ideal a divisão em períodos característicos. Assim, optou-se por utilizar a mesma metodologia da divisão em intervalos para os diferentes períodos.

O comportamento encontrado foi diversificado entre as estações. No período seco houve grande variabilidade entre os valores de todos os intervalos para os dois pontos monitorados. As médias dos valores de umidade do solo foram maiores para a estação 01 no período seco, ocorrendo o inverso no período úmido, ou seja, as maiores médias encontradas na época de maior volume de chuvas ocorreram na estação 02. Este comportamento pode ser visto nas Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 01

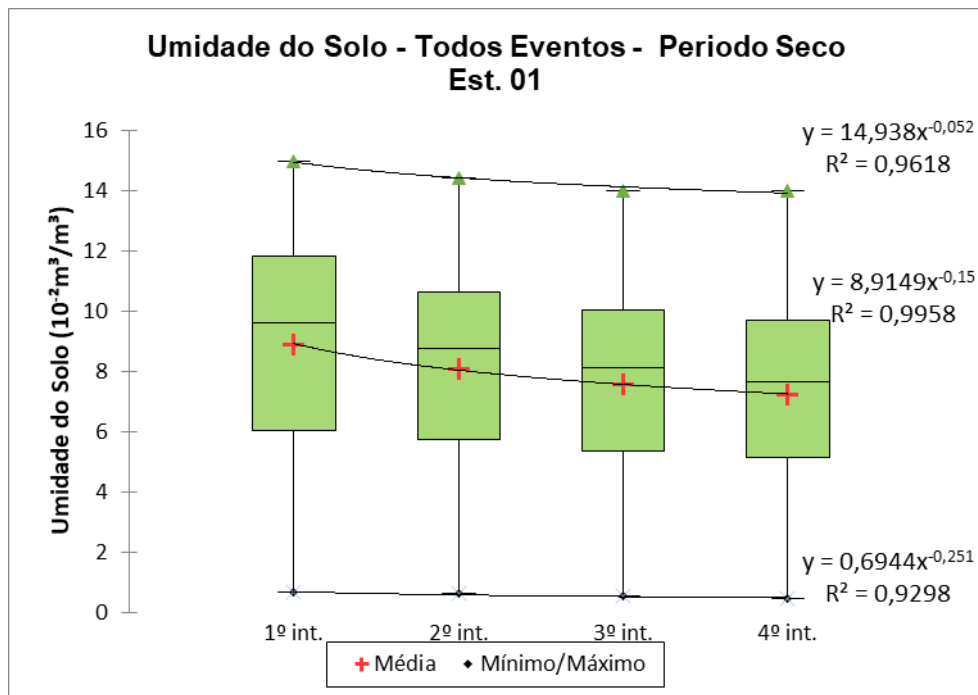
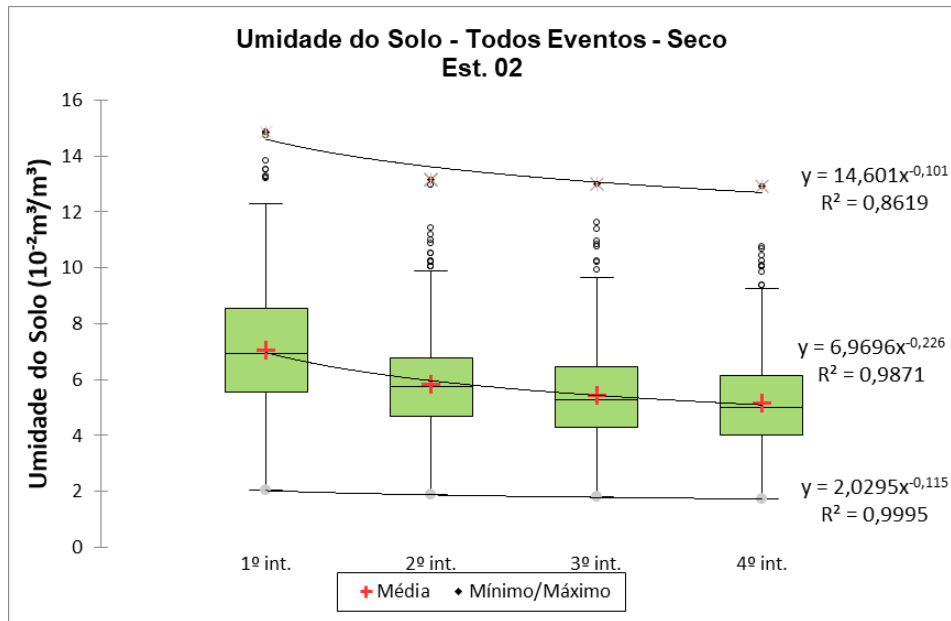


Figura 25 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 02



Constata-se que o decrescimento para as duas estações no período seco tem tendência potencial, isto pode ser visto nas Figura 24 e Figura 25, nestas são mostradas equações potenciais e seus respectivos coeficientes de determinação, para os valores máximos, médios e mínimos. Os resultados encontrados foram satisfatórios, principalmente para aqueles relativos à média. Para o período úmido sucede-se da mesma maneira, ressaltando-se, apenas, a maior variabilidade entre os valores de umidade do solo para a estação 02, tais resultados podem ser vistos nas Figura 26 e Figura 27.

Figura 26 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período úmido: Estação 01

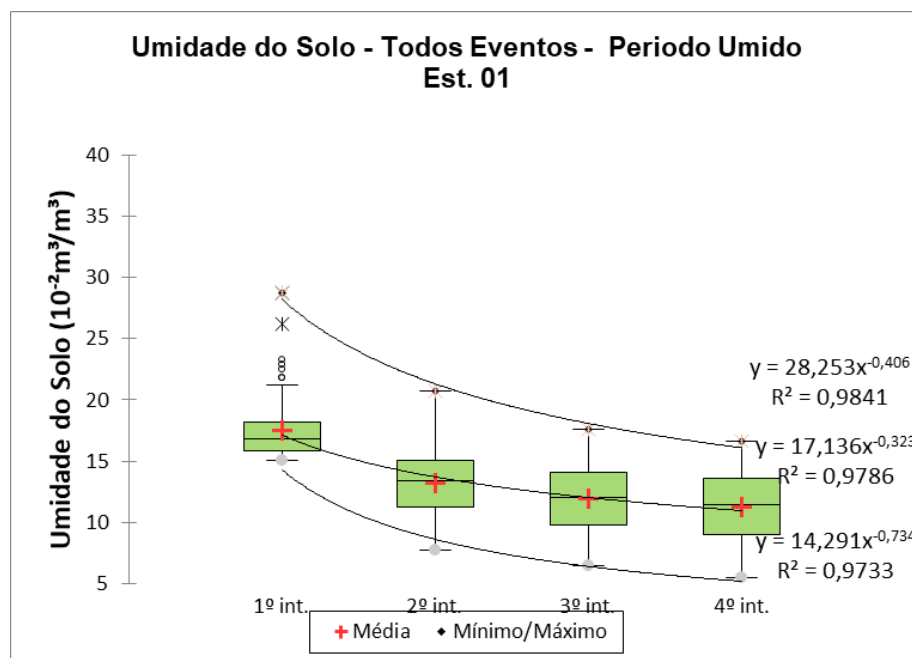
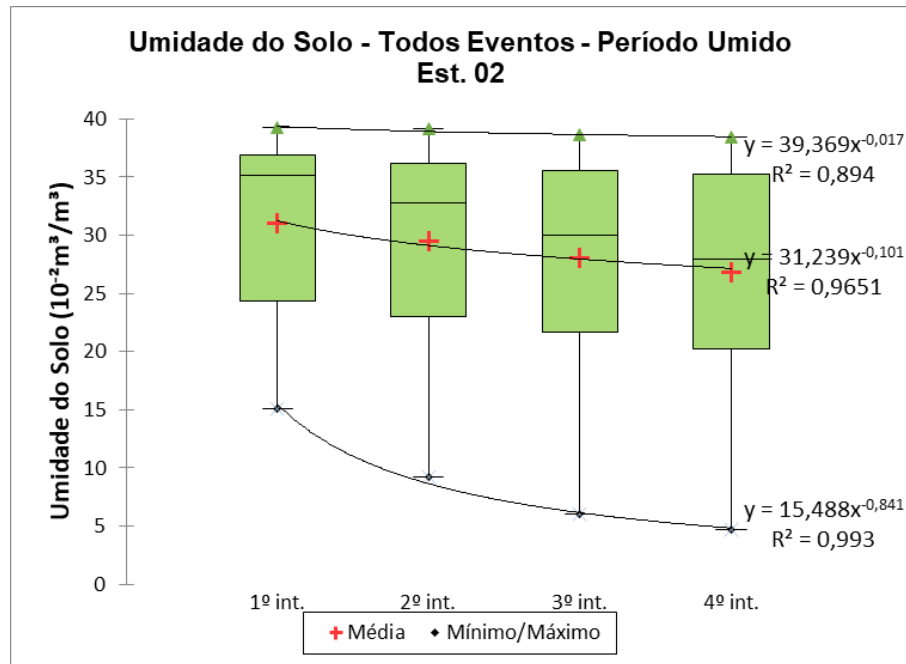


Figura 27 - Box-Plot da Umidade do solo em cada intervalo para período seco: Estação 02



Analisando a taxa de secagem em períodos, percebe-se que para o seco, a tendência potencial de decrescimento da velocidade de perda de água ocorre para ambas estações, obtendo-se melhores coeficientes de determinação para os valores máximos da estação 01 e médios da estação 02. Os resultados de taxa de secagem são maiores para a estação 02, assim como a variabilidade, como mostrado nas Figura 28 e Figura 29.

Figura 28 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período seco: Estação 01

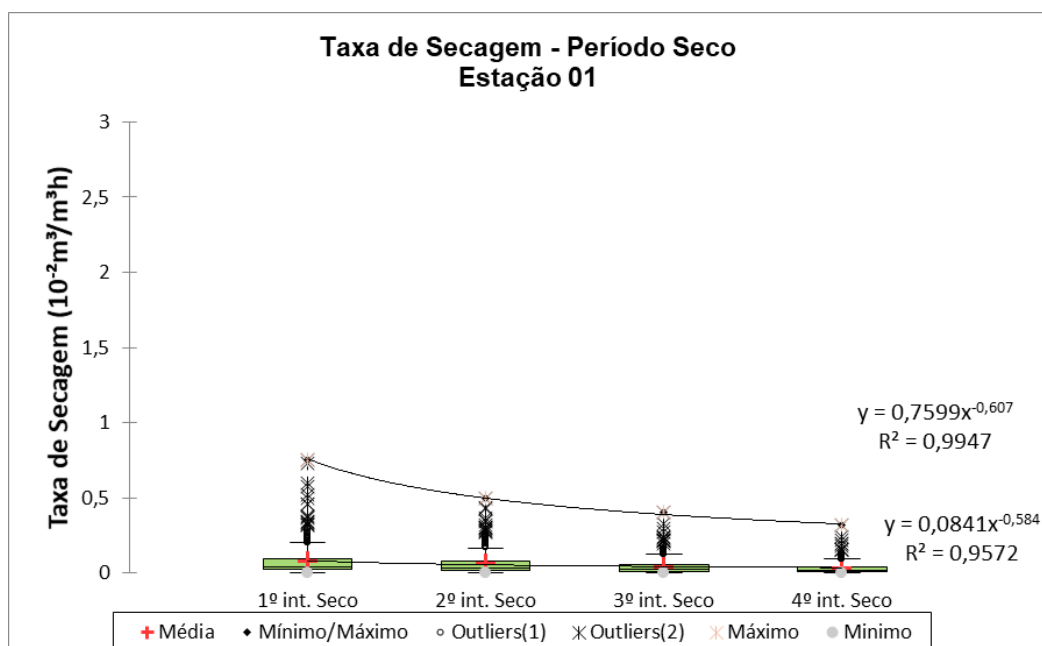
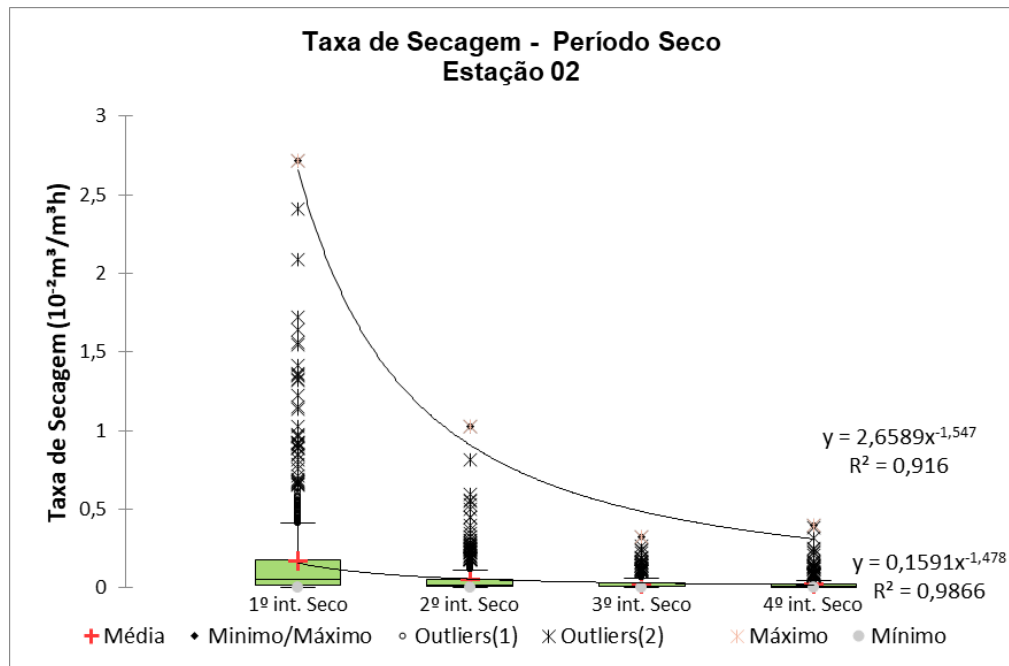


Figura 29 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período seco: Estação 02



Para o período úmido, o comportamento encontrado foi diferente entre as estações. No posto pluviográfico 01, a tendência potencial de secagem permaneceu e com valores bem mais rápidos quando comparados à estação 02, como visto nas Figura 30 e Figura 31. Nesta, por sua vez, foi verificado um comportamento com disposição linear entre os quartis analisados.

Figura 30 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período úmido: Estação 01

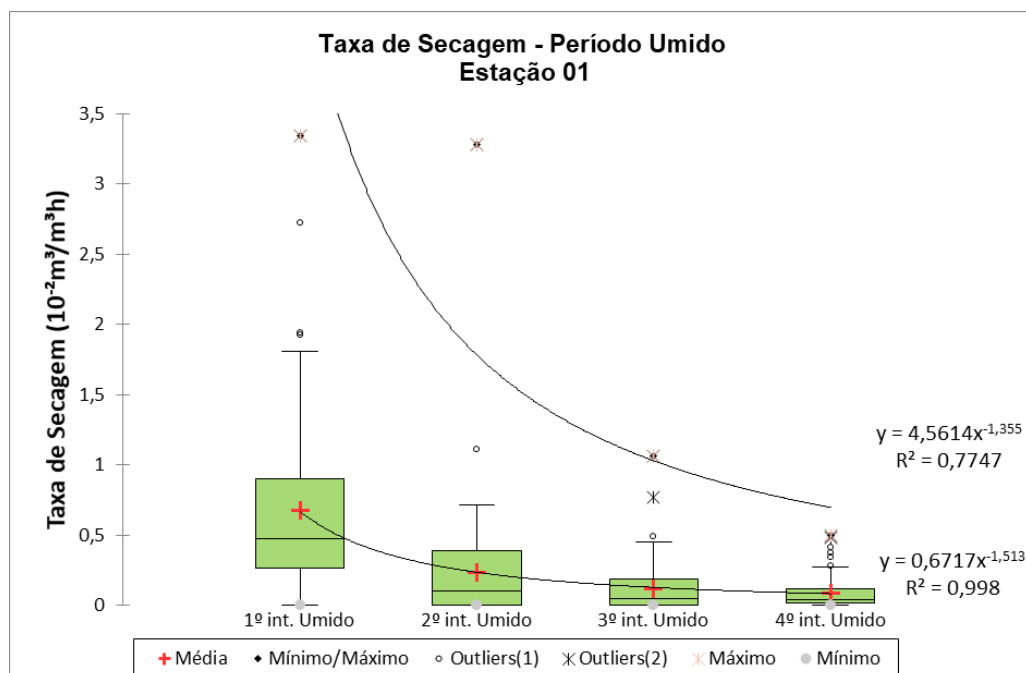
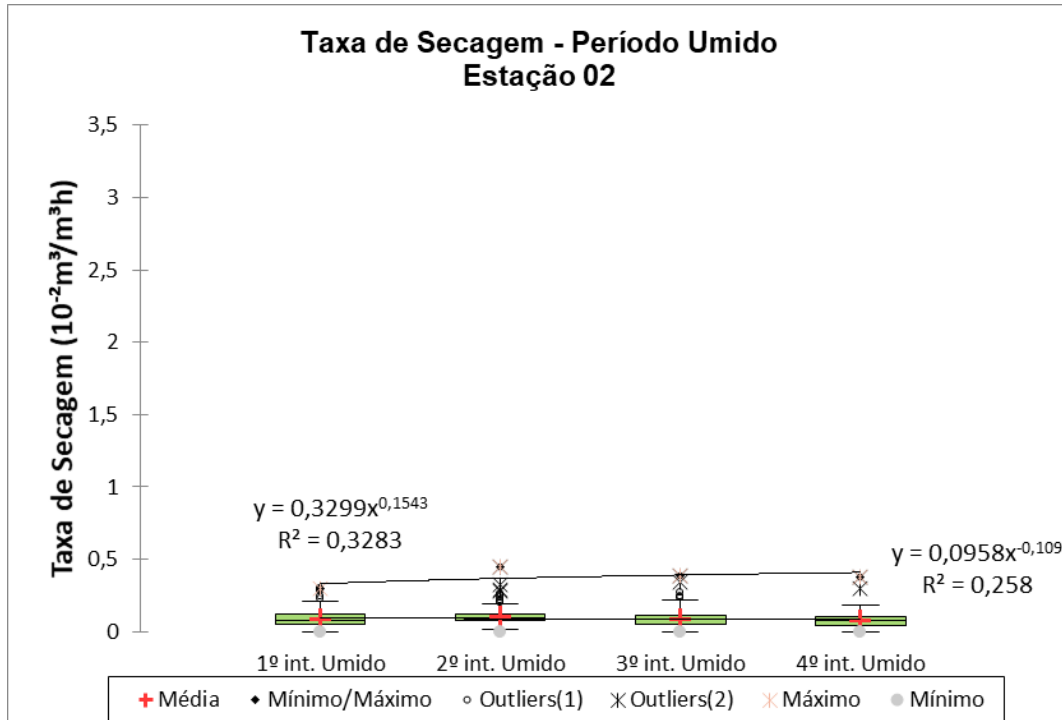


Figura 31 - Box-Plot da Taxa de Secagem em cada intervalo para período úmido: Estação 02



6 CONCLUSÕES

O contínuo monitoramento das variáveis hidrológicas é de essencial importância para o estudo da dinâmica do balanço hídrico ao longo de toda a bacia experimental. A partir da observação do comportamento da umidade do solo nas diferentes estações aferidas, tornou-se possível perceber como ocorre a variação da umidade do solo a trinta centímetros em cada estação, assim como, analisar e corrigir alguns erros grosseiros de mensuração, como aqueles observados nas informações da meia noite. A importância de averiguar tal conhecimento trata-se de determinar se existe alguma característica específica, ou seja, identidade para cada estação monitorada. Prever como ocorre a perda de água por cada solo, dentro de uma lista de particularidades, pode ser útil para inúmeros desdobramentos da gestão de recursos hídricos, como irrigação e agricultura.

Analisando a dinâmica da umidade, percebeu-se que a estação 02 obteve os valores mais altos de umidade, além da maior velocidade na variação deste parâmetro. Ao passo que, a estação 04 exibiu valores mais constantes com velocidade de variação mais lenta. Finalmente, a estação 01, apresentou os menores valores de umidade, fato justificado pela vegetação circundante ser mata atlântica e a topografia do local de instalação favorecer a perda d'água mais veloz.

Averiguando o exposto através dos diagramas tipo *Boxplot*, notam-se as diferenças entre as estações analisadas, de acordo com cada período de tempo e intervalo, apesar da semelhança da precipitação. Quanto à taxa de secagem, foi possível constatar que os comportamentos observados exibem divergências entre as estações estudadas. É notório que tanto para a estação 01 como para a estação 02, o período seco apresentou os valores de taxa de secagem decrescentes com tendência potencial se observado os valores médios entre o primeiro ao quarto intervalo. No período úmido, percebe-se um comportamento divergente entre as duas estações, nota-se a tendência uniforme que os valores de taxa de secagem mostram para os quatro intervalos dos períodos úmidos, isto é, as resultantes da média, desvio, mínimos e máximos são similares para estes intervalos para a estação 02. Portanto, há uma tendência linear entre as taxas de secagem médias observadas para a estação 02, entretanto, para a estação 01 nota-se, ainda, a tendência de decréscimo potencial.

O maior índice de secagem para o período úmido na estação 01 demonstra uma declividade mais acentuada na perda de água deste solo, assim, pode-se concluir que o solo deste local seca mais rápido e que, apesar do grande volume de chuvas do período, este ainda

consegue manter um comportamento de perda d'água com tendência potencial.

Constata-se que os valores de taxa de secagem da estação pluv. 01 são maiores que os da estação pluv. 02, no período úmido, ocorrendo o inverso para o período seco. Observa-se ainda que as maiores dispersões acontecem no primeiro quartil do período úmido da estação 01, o que indica a rápida variação da umidade do solo durante este período, e que a taxa de secagem está intimamente ligada ao máximo valor de umidade do solo atingido durante o evento chuvoso.

A continuidade do monitoramento da precipitação e umidade do solo é de fundamental relevância, a fim de que esta pesquisa possa ser melhorada devido ao maior número de informações, objetivando encontrar melhores resultados. Sugere-se, ainda, a aplicação desta metodologia em outras áreas de estudo para comparação de resultados.

Fazer análises comparativas com outras variáveis hidrológicas se tratam de possíveis desdobramentos das pesquisas até agora realizadas. A análise da influência do nível do lençol freático na dinâmica da umidade do solo nas estações pluviográficas é um ponto chave para o melhor entendimento do comportamento desta variável em cada posto monitorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELEN, S.; SEITZ, F. Relating satellite gravimetry data to global soil moisture products via data harmonization and correlation analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 136, p. 89–98, 2013.

ARAUJO, J. C.; PIEDRA, J. I. G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Wiley InterScience**, 2009.

BARBOSA, L. R. **RELAÇÕES PRECIPITAÇÃO-UMIDADE DO SOLO-VAZÃO DE EVENTOS SUB-DIÁRIOS EM BACIAS EXPERIMENTAIS DO NE** Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre [s.l: s.n.].

BROCCA, L. et al. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability. **Journal of Hydrology**, v. 422–423, p. 63–75, 2012.

BROCCA, L. et al. Rainfall estimation from in situ soil moisture observations at several sites in Europe: An evaluation of the SM2RAIN algorithm. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 63, n. 3, p. 201–209, 2015.

BROCCA, L. et al. Soil Moisture for Hydrological Applications: Open Questions and New Opportunities. **Water**, v. 9, n. 2, p. 140, 2017.

CAMPBELL SCIENTIFIC. CS616 and CS625 water content reflectometers. **Instruction manual**, p. 50, 2012.

CHEN, L. et al. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. **Catena**, v. 70, n. 2, p. 200–208, 2007.

CHO, E.; CHOI, M. Regional scale spatio-temporal variability of soil moisture and its relationship with meteorological factors over the Korean peninsula. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 317–329, 2014.

CORDEIRO, L. E. P.; ALBUQUERQUE, F. A. DE; MONTENEGRO, S. M. L. G. Evapotranspiração De Referência Em Bacia Experimental Do Riacho Gameleira, Pernambuco, Usando O Método Penman-Monteith Da Fao. p. 1–8, 2015.

FONTES, A. S. Universidade Federal da Bahia Universidade Federal da Bahia. n. 71, p. 3–5, 2005.

FONTES, A. S.; ALVARES, D.; MEDEIROS, Y. D. P. Bacia Experimental Do Rio Do Cedro: Implantação E Primeiros Resultados. **VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, n. 71, 2004.

HE, Z. et al. The response of soil moisture to rainfall event size in subalpine grassland and meadows in a semi-arid mountain range: A case study in northwestern China's Qilian Mountains. **Journal of Hydrology**, v. 420–421, p. 183–190, 2012.

HU, W.; SI, B. C. Estimating spatially distributed soil water content at small watershed scales based on decomposition of temporal anomaly and time stability analysis. **Hydrology and**

Earth System Sciences, v. 20, n. 1, p. 571–587, 2016.

LIRA, N. B. Análise da variabilidade espaço-temporal da umidade do solo na bacia experimental do riacho Guaraíra. p. 1–118, 2015.

LIU, Q.; WANG, M.; ZHAO, Y. Assimilation of ASAR data with a hydrologic and semi-empirical backscattering coupled model to estimate soil moisture. **Chinese Geographical Science**, v. 20, n. 3, p. 218–225, 2010.

LIU, Y. Y. et al. Influence of cracking clays on satellite estimated and model simulated soil moisture. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 6, p. 979–990, 2010.

MCCOLL, K. A. et al. Global characterization of surface soil moisture drydowns. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 8, p. 3682–3690, 2017.

MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural : 3. Análise da Estabilidade Temporal do Padrão Espacial do Conteúdo de Água no Solo. v. 12, p. 43–52, 2007.

MITTELBAACH, H.; SENEVIRATNE, S. I. A new perspective on the spatio-temporal variability of soil moisture: Temporal dynamics versus time-invariant contributions. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 7, p. 2169–2179, 2012.

PARAÍBA. 1985. Secretaria da Educação. **Atlas geográfico do Estado da Paraíba**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, GRAFSET.

PASTUSZKA, T. et al. Effect of Time-Domain Reflectometry probe location on soil moisture measurement during wetting and drying processes. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 49, n. 1, p. 182–186, 2014.

QIU, Y. et al. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 240, n. 3–4, p. 243–263, 2001.

REHISA. **Relatório Final da Caracterização das bacias experimentais do semiárido, IBESA – Implantação de bacias exp. do semiárido para o desenvolvimento de metodologias de avaliação dos balanços hídricos e energéticos em diferentes escalas temporais e espaciais**. Projeto integrado UFRN-UFCUFPB-UFCG-UFRPE-UFPE-UFBA, 2004, 143 p.

ROCHA, S. R. Á. G. Universidade Federal de Alagoas – UFAL Centro de Tecnologia – CTEC Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Universidade Federal de Alagoas – UFAL Centro de Tecnologia – CTEC Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. p. 148, 2008.

ROMANO, N. Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 6–20, 2014.

RONDINELLI, W. J. et al. Different Rates of Soil Drying after Rainfall Are Observed by the SMOS Satellite and the South Fork in situ Soil Moisture Network. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, n. 2, p. 889–903, 2015.

ROSSATO, L.; ANGELIS, C.; ALVALÁ, R. Impacto das Características da Superfície Terrestre no Algoritmo de Inferência da Umidade do Solo no Brasil, Utilizando Observações do Sensor AMSR-E/Aqua. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 137–156, 2013.

SANTOS, T. E. M. **DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO EM BACIA EXPERIMENTAL DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**. 2010.

SENEVIRATNE, S. I. et al. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 99, n. 3–4, p. 125–161, 2010.

SHELLITO, P. J. et al. SMAP soil moisture drying more rapid than observed in situ following rainfall events, **Geophys. Res. Lett.**, 43, 8068–8075, doi:10.1002/2016GL069946. 2016.

SILVA, L. P. DA; EWEN, J. Modelagem hidrológica de grandes bacias hidrográficas: a necessidade de novas metodologias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. Figura 1, p. 81–92, 2000.

SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; SANTOS, C. A. G. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na Modelagem dos Processos de Vazão e de Erosão na Bacia do Rio Guaraíra. **III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, n. 83, p. 23–28, 2006.

TOEBES, C.; OURYVAEV, V. Representative and experimental basins. **Water**, 1973.

TRONCOSO, R. F. **Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá – RN visando a Implantação de bacia experimental e a atenuação de cheias pela barragem Tabatinga**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões Hidrologia: ciência e aplicação**, 2002.

VACHAUD, G. et al. Temporal Stability of Spatially Measured Soil Water Probability Density Function1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 822, 1985.

VERECKEN, H. et al. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 76–96, 2014.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies-an international and historical perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, v. 145, n. 3–4, p. 217–230, 1993.

ZUCCO, G. et al. Influence of land use on soil moisture spatial-temporal variability and monitoring. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 193–199, 2014.

APÊNDICE A – PRECIPITAÇÃO E DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO NAS ESTAÇÕES PLUVIOGRÁFICAS

Figura 32 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2004 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra

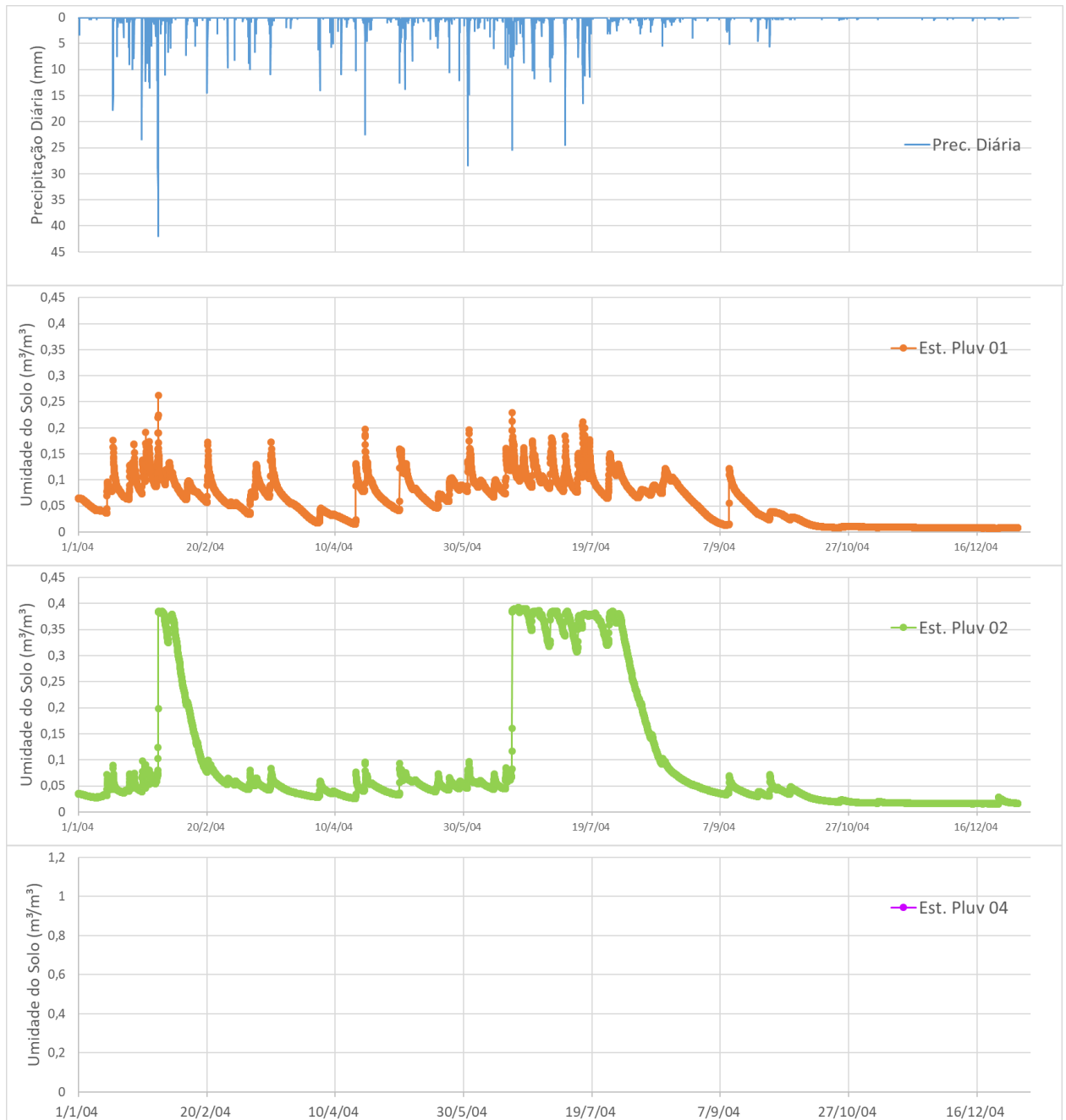


Figura 33 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2005 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

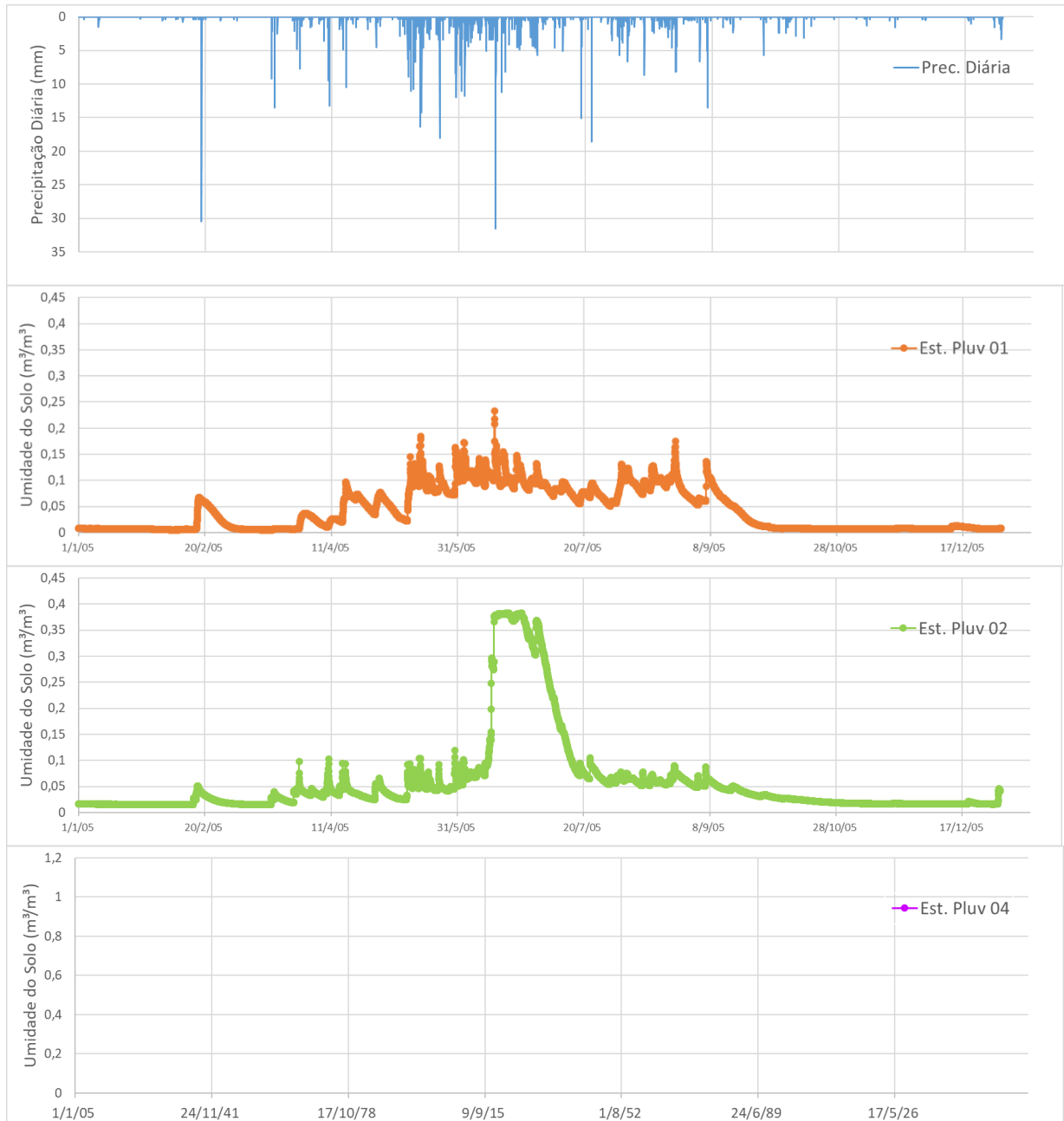


Figura 34 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2006 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

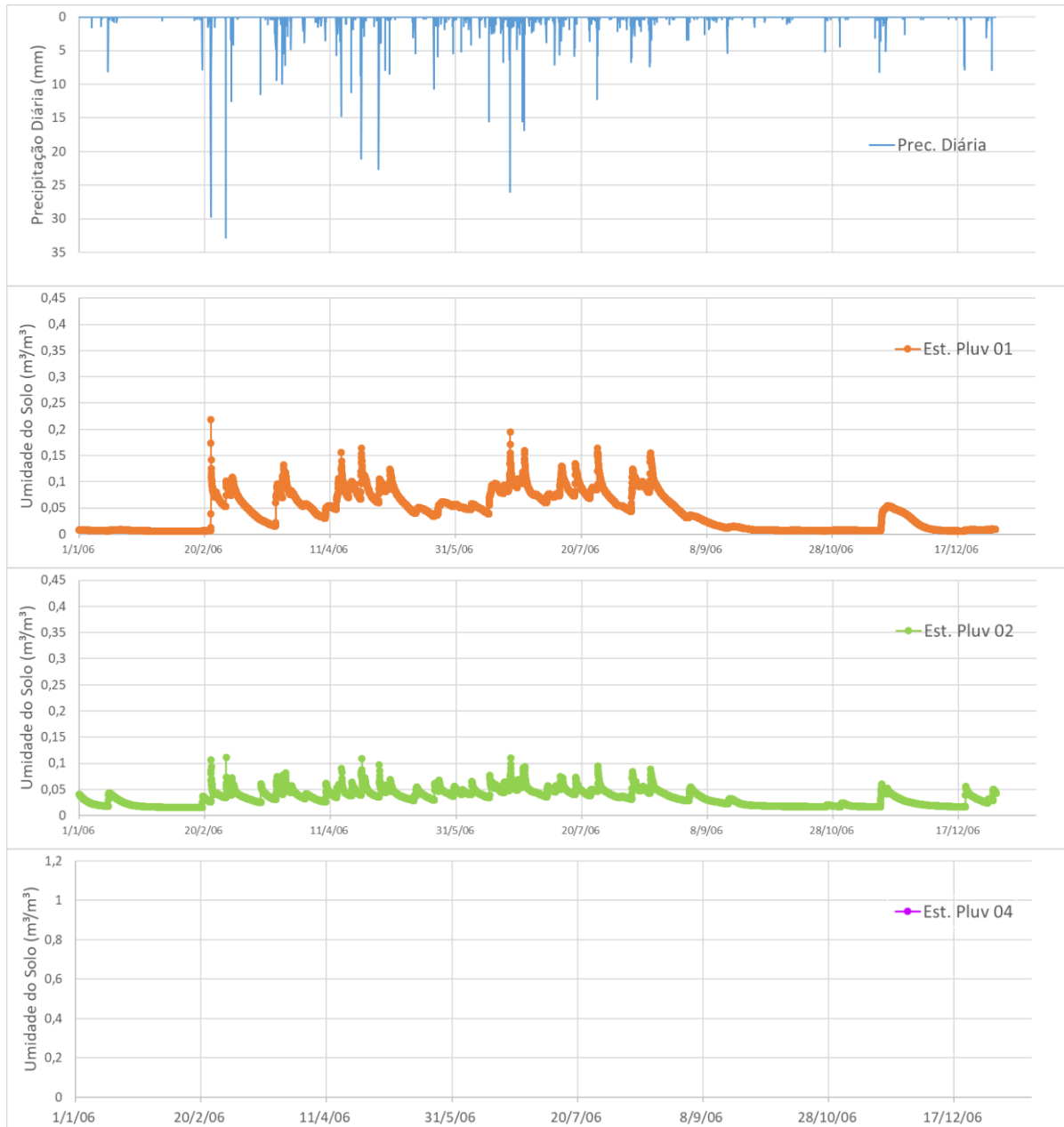


Figura 35 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2006 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

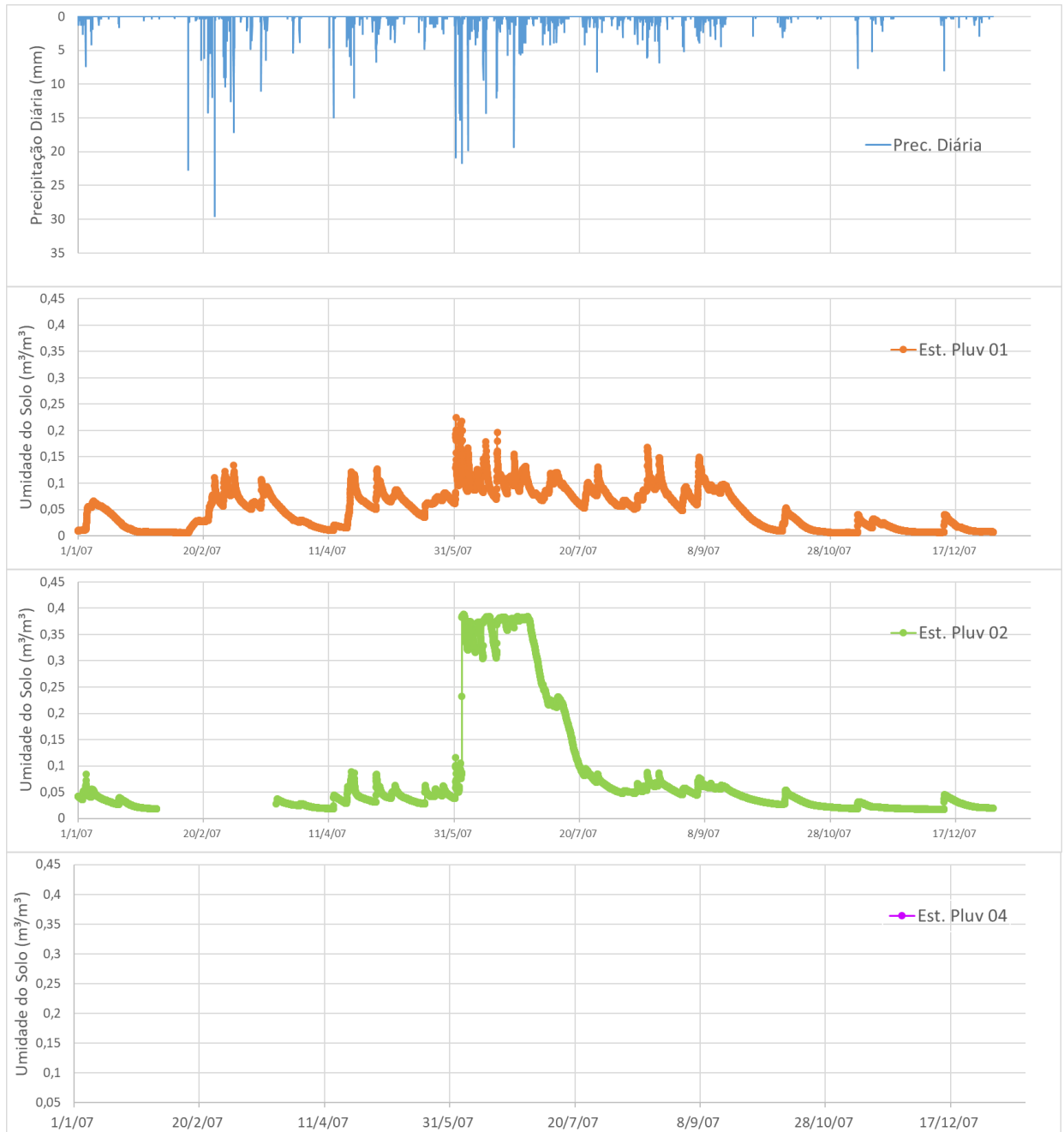


Figura 36 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2009 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

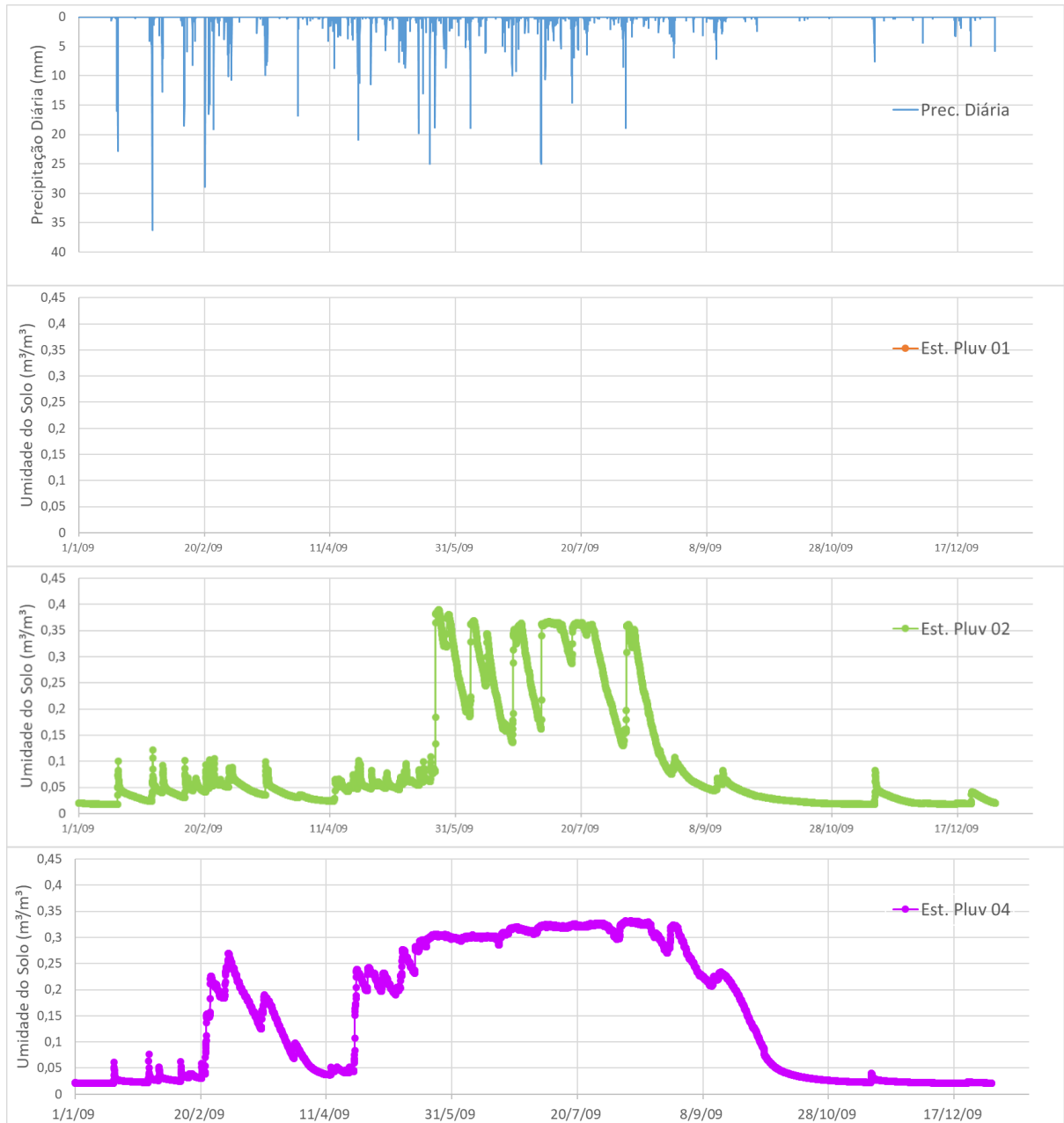


Figura 37 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2010 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

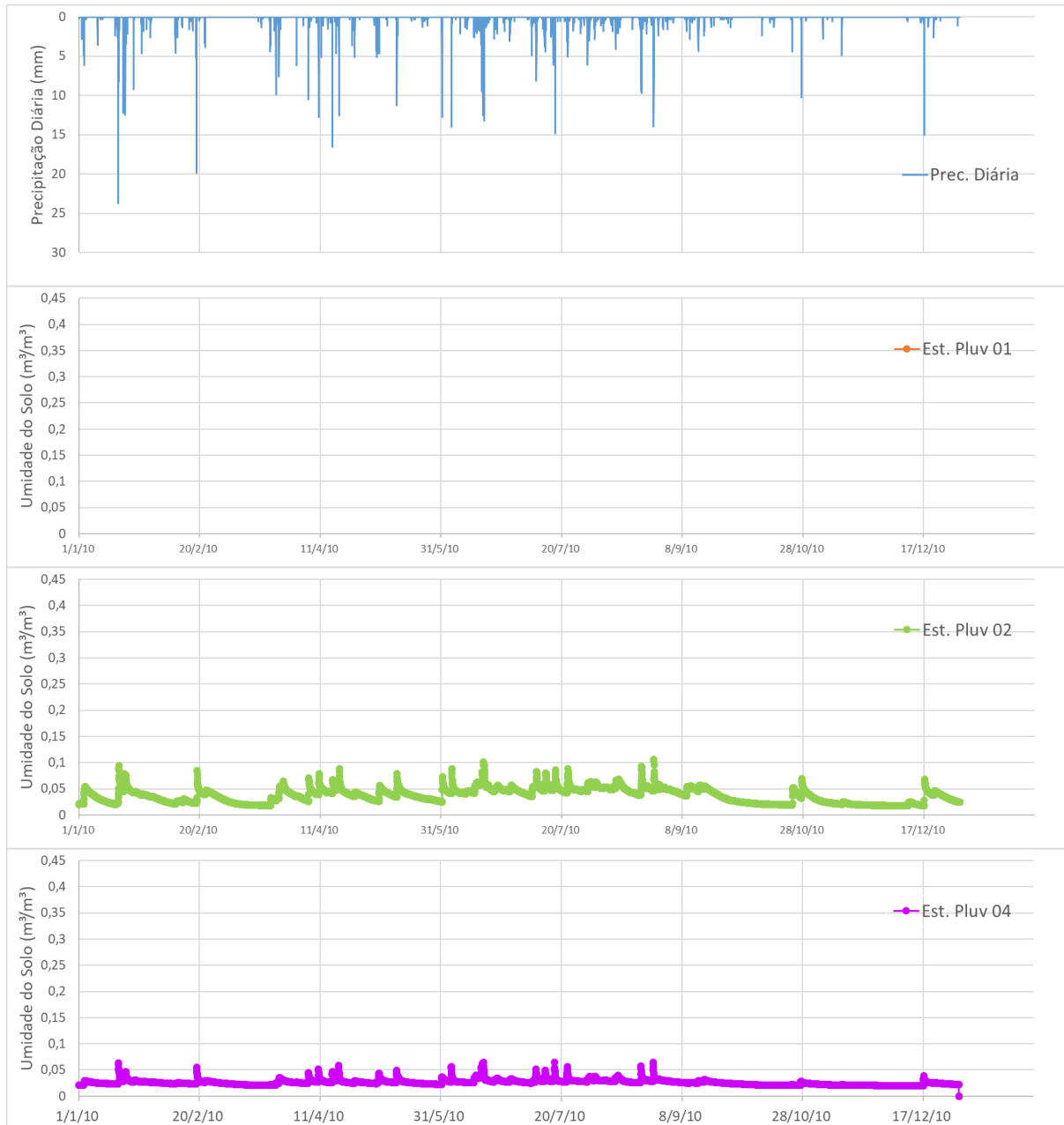


Figura 38 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2011 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

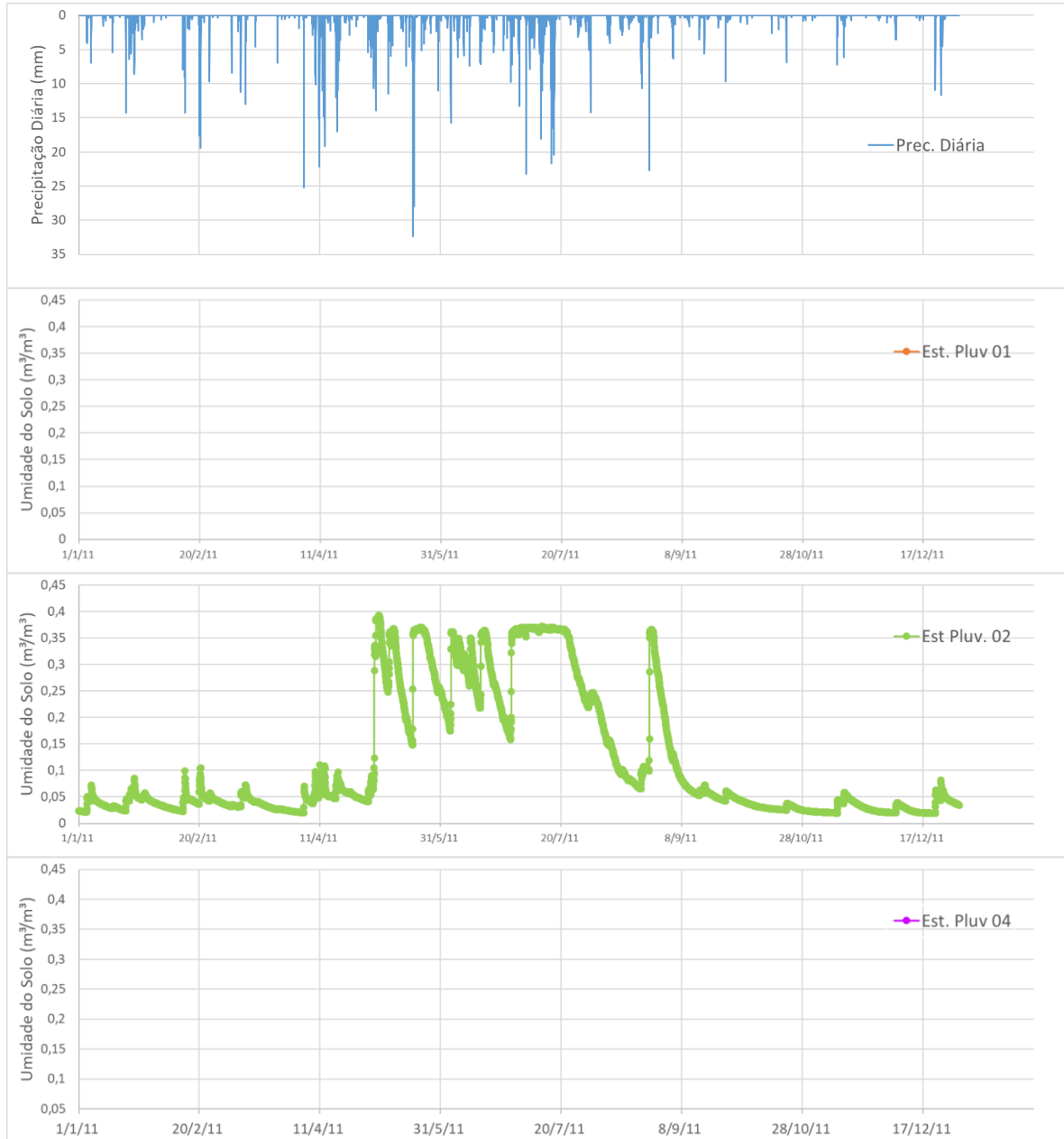


Figura 39 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2013 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

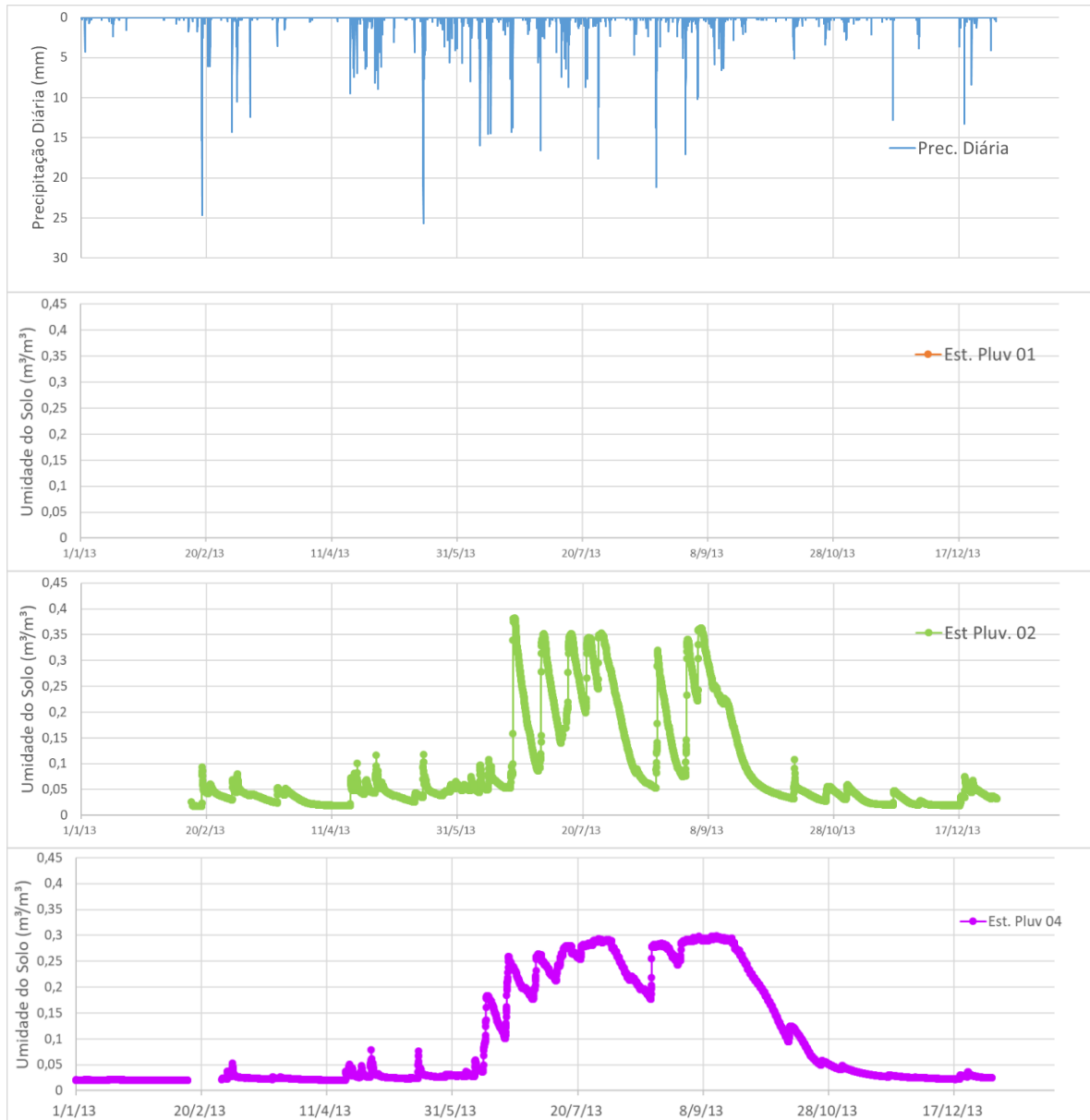


Figura 40 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2015 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

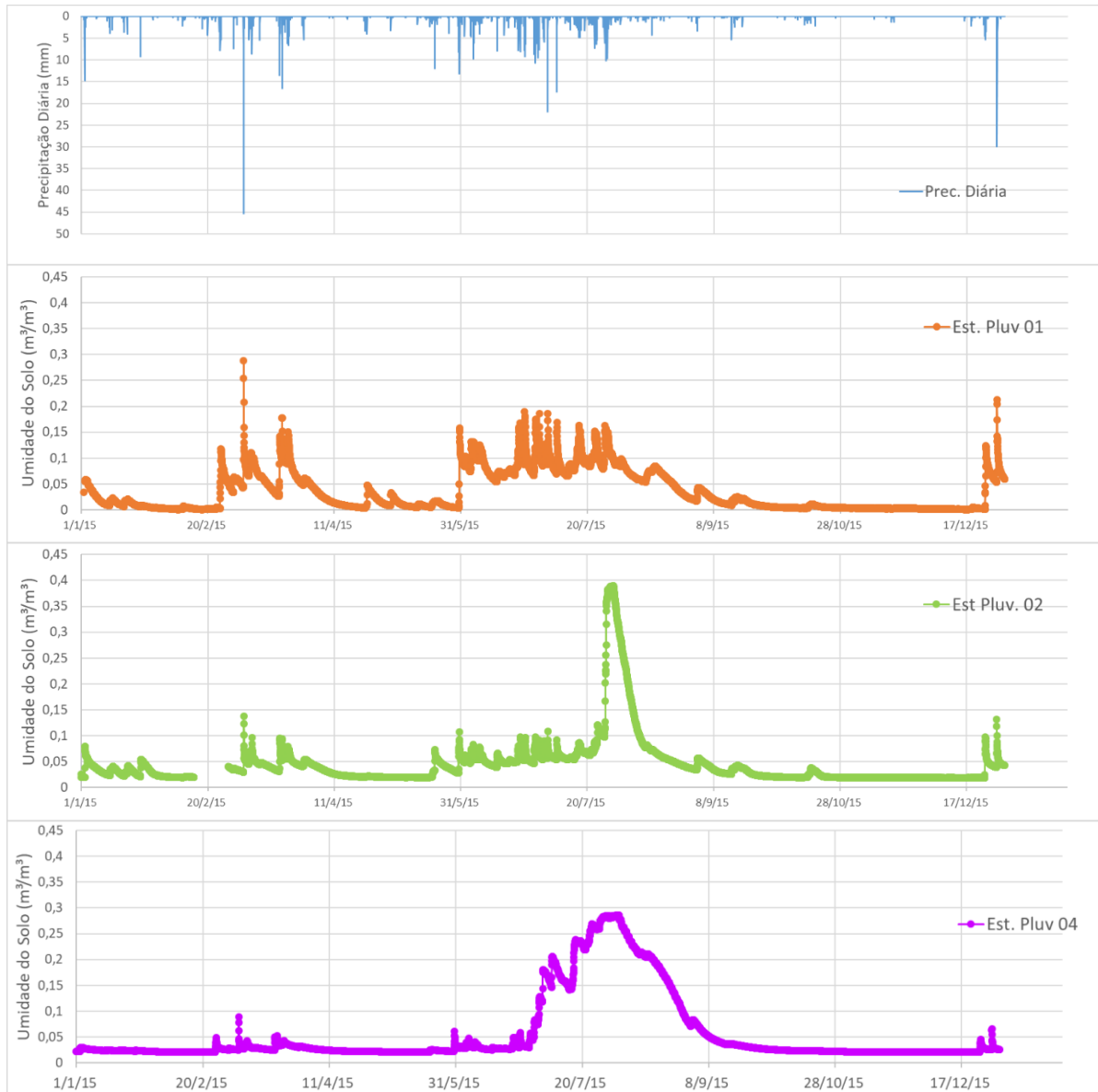
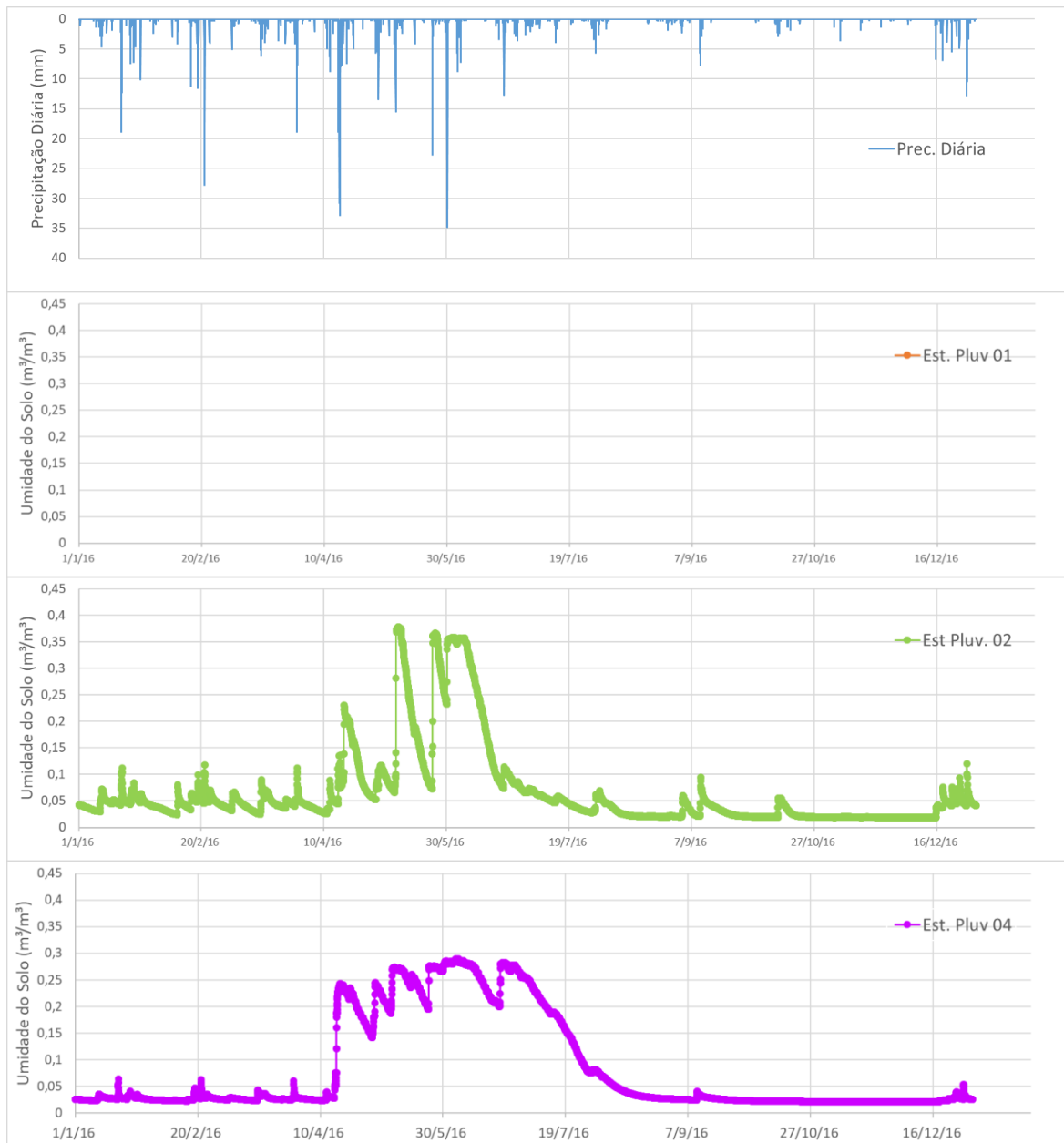


Figura 41 - Dinâmica da umidade do solo e precipitação no ano de 2016 nas estações de monitoramento analisadas da bacia experimental do Riacho Guaraíra.



APÊNDICE B – DINÂMICA DA UMIDADE DO SOLO COM RESPECTIVOS LIMITES DOS EVENTOS DE SECAGEM E PRECIPITAÇÃO

Figura 42 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2004 das estações analisadas.

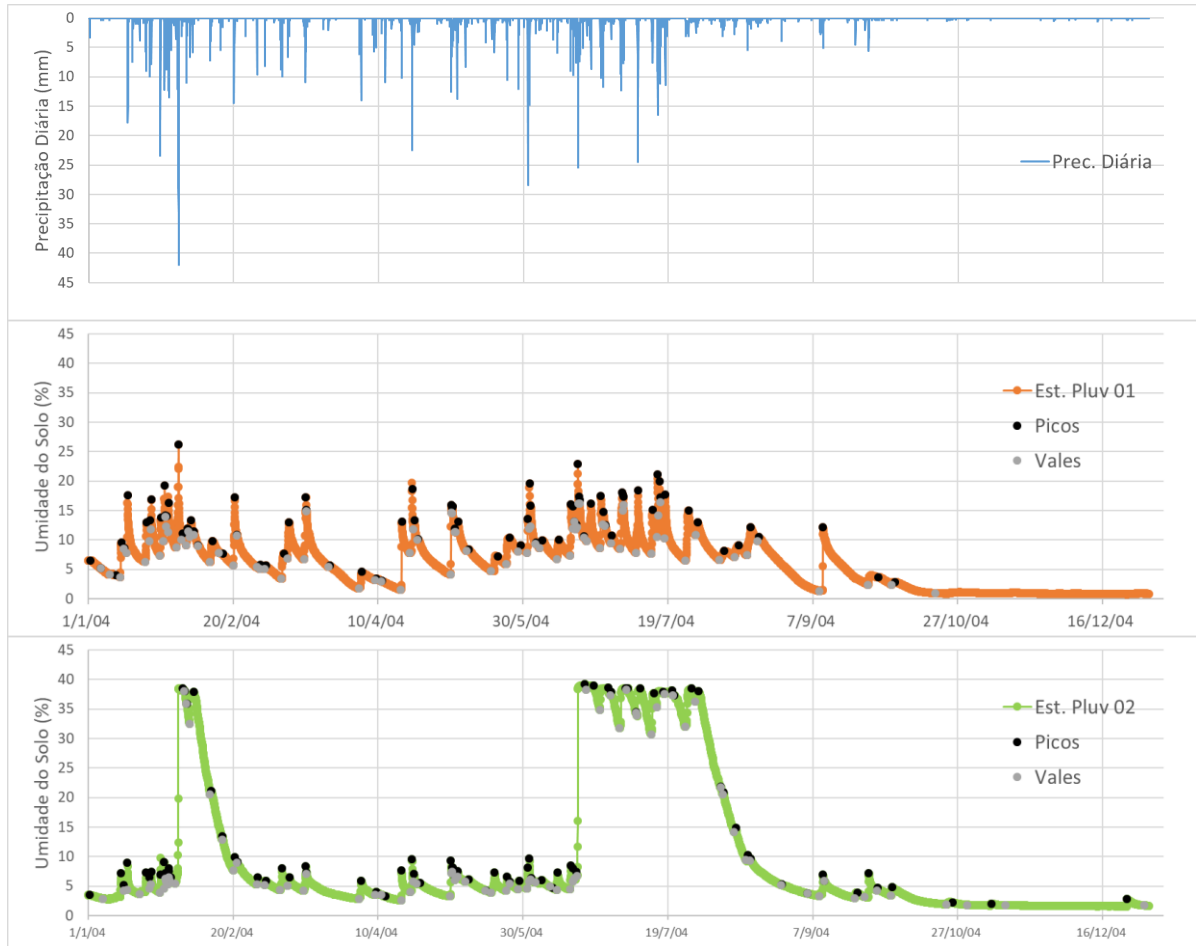


Figura 43 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2005 das estações analisadas

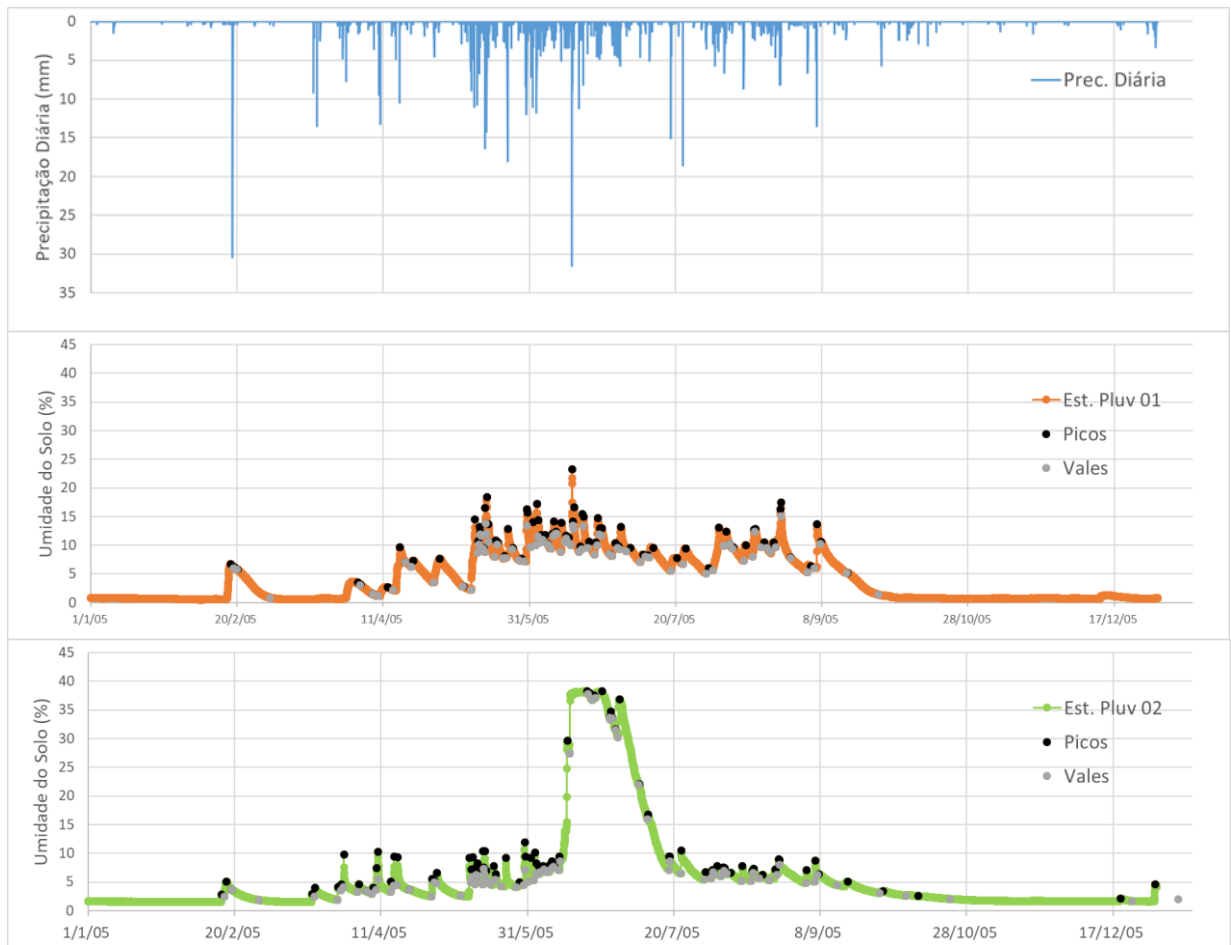


Figura 44 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2006 das estações analisadas.

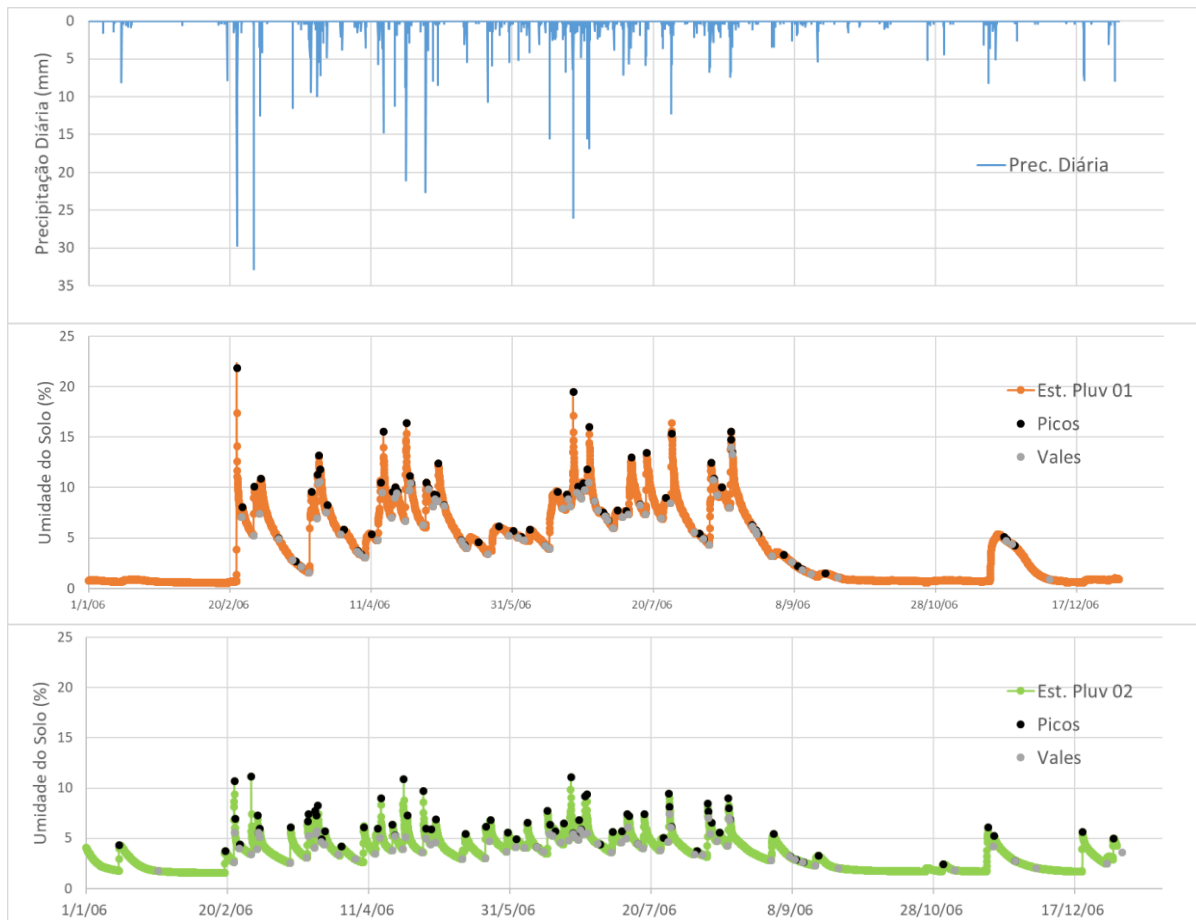


Figura 45 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2007 das estações analisadas.

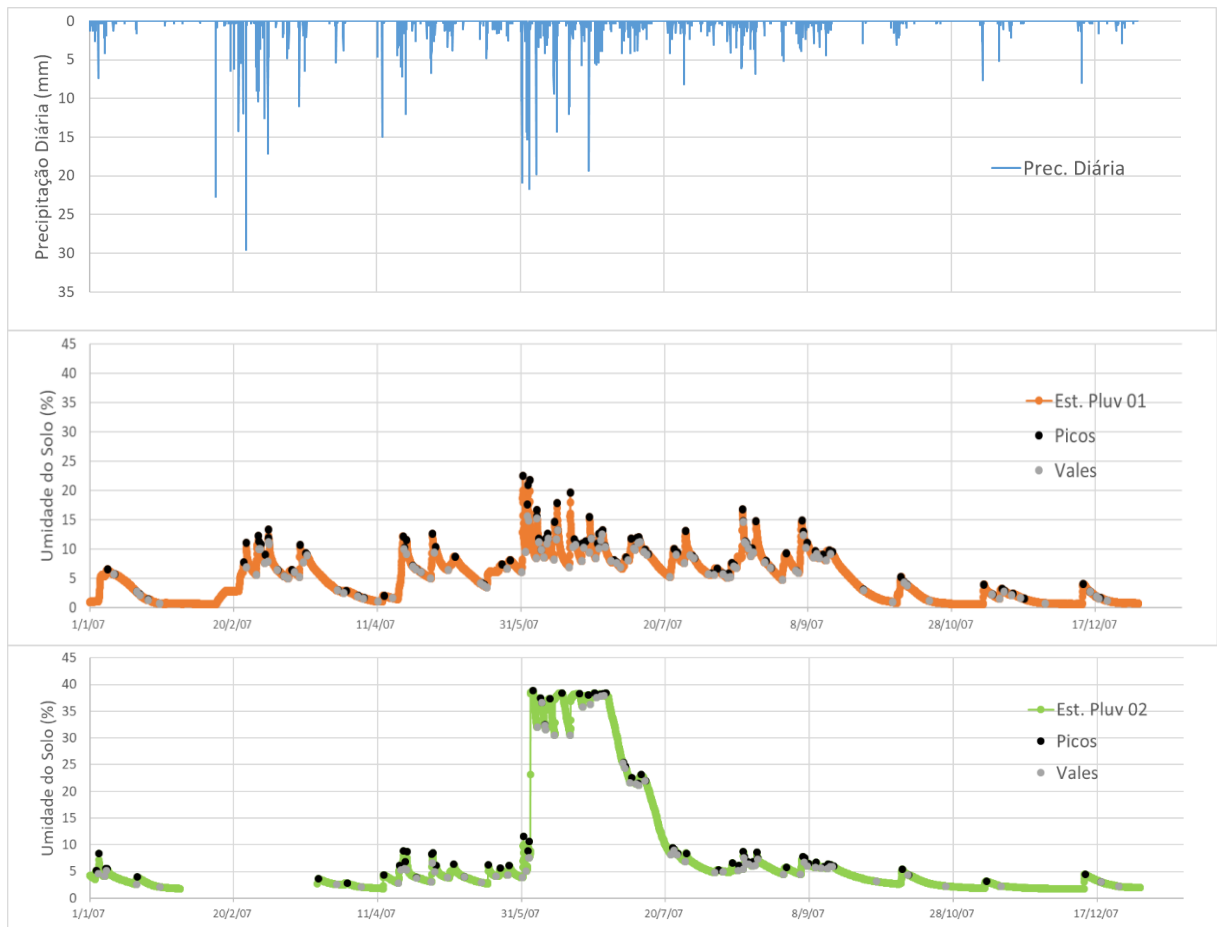


Figura 46 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2009 das estações analisadas.

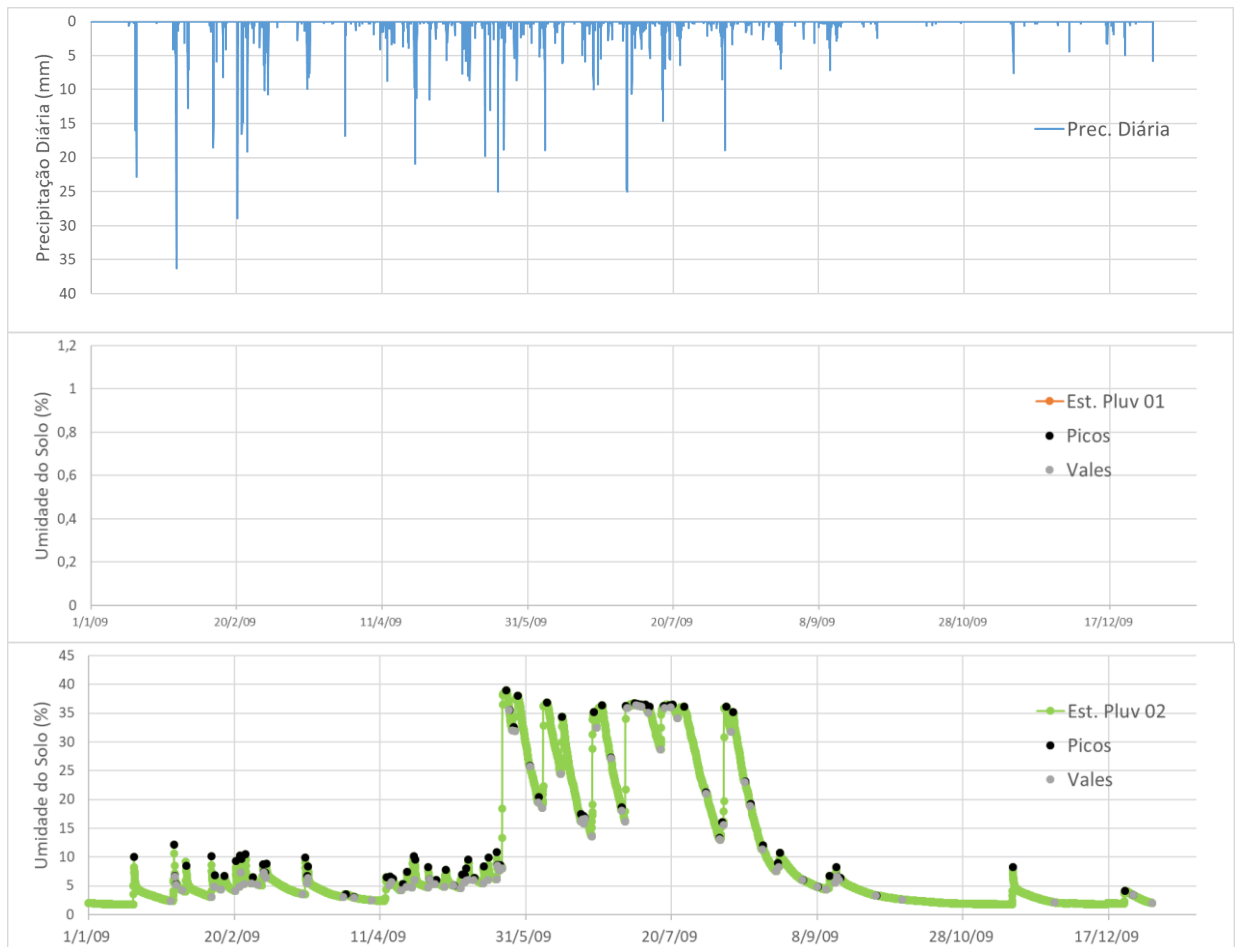


Figura 47 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2010 das estações analisadas.

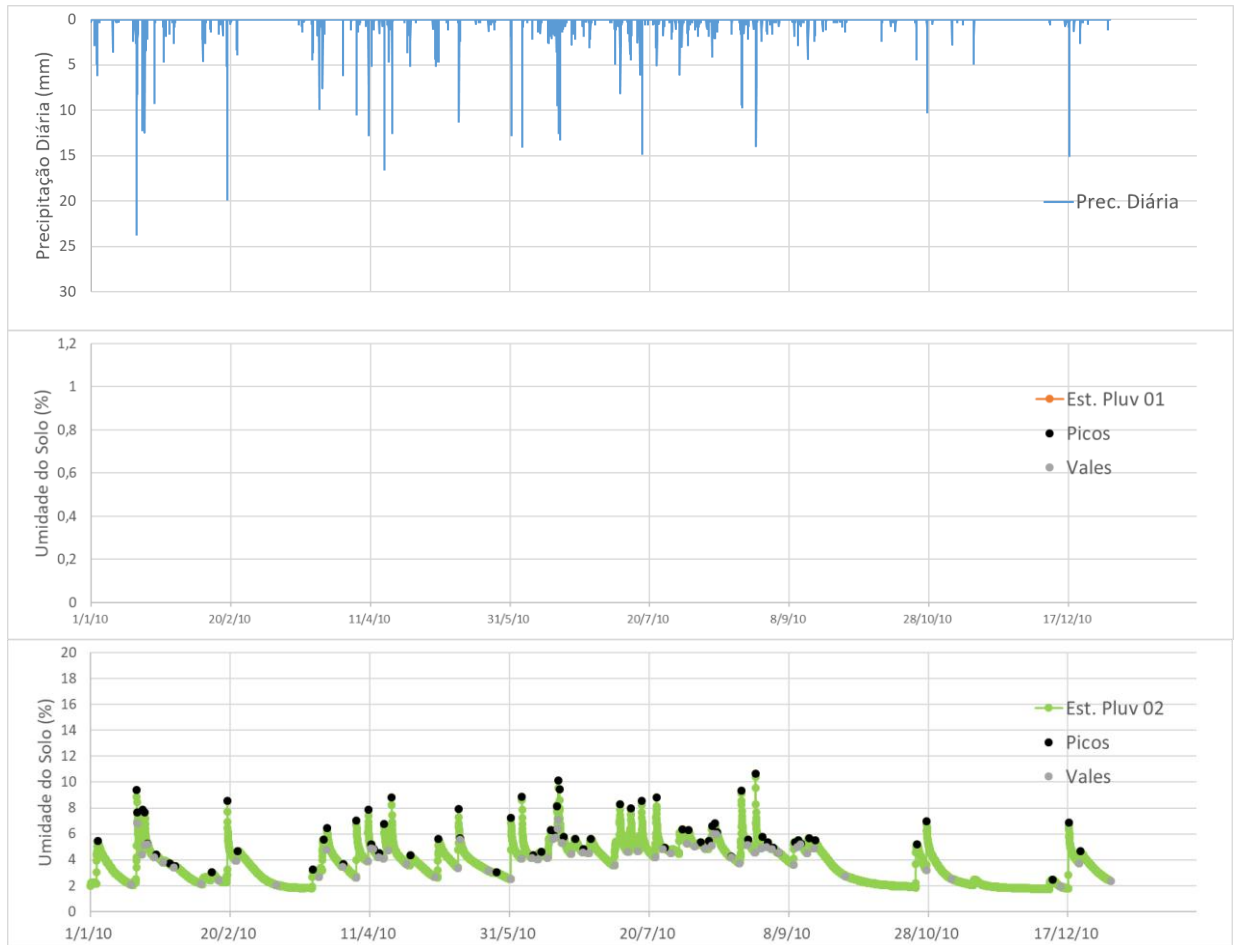


Figura 48 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2011 das estações analisadas.

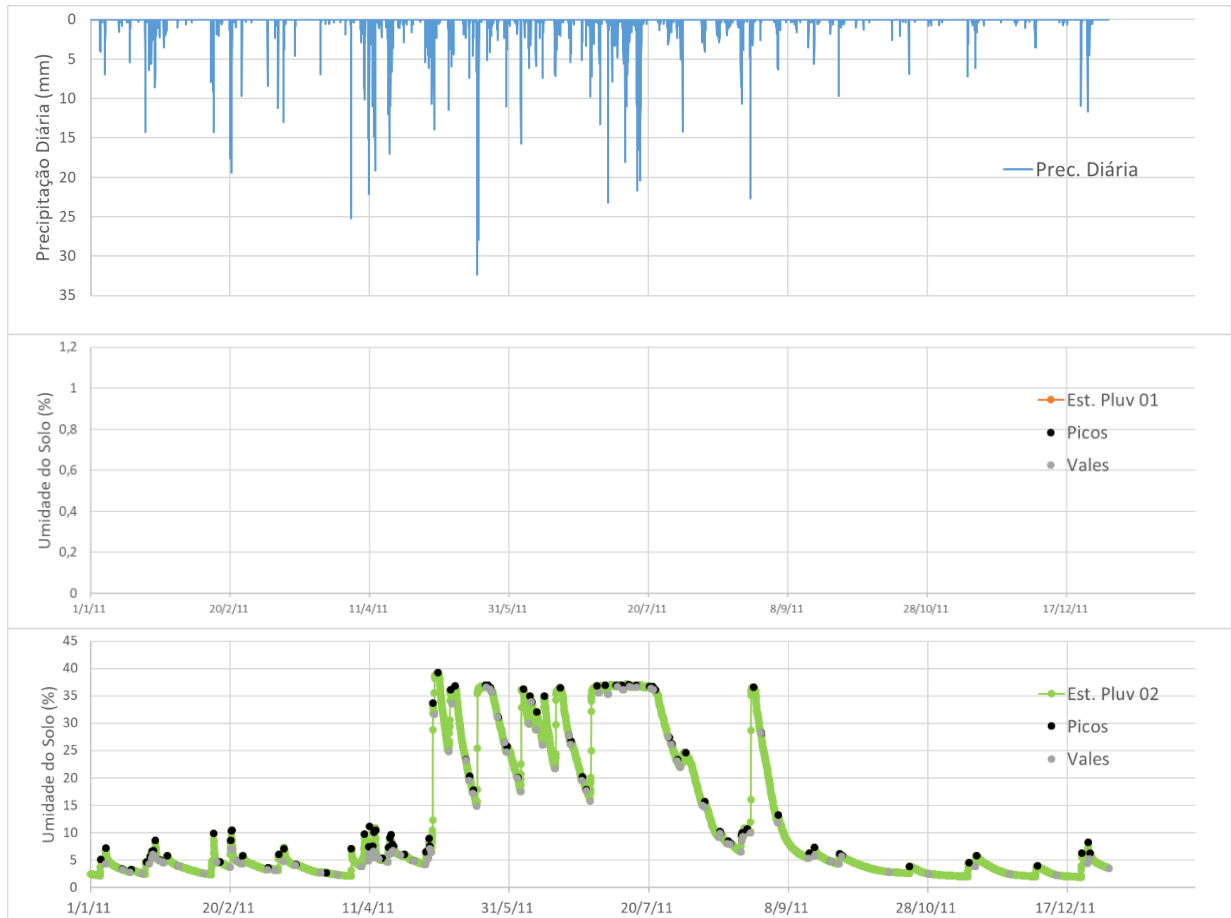


Figura 49 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2013 das estações analisadas.

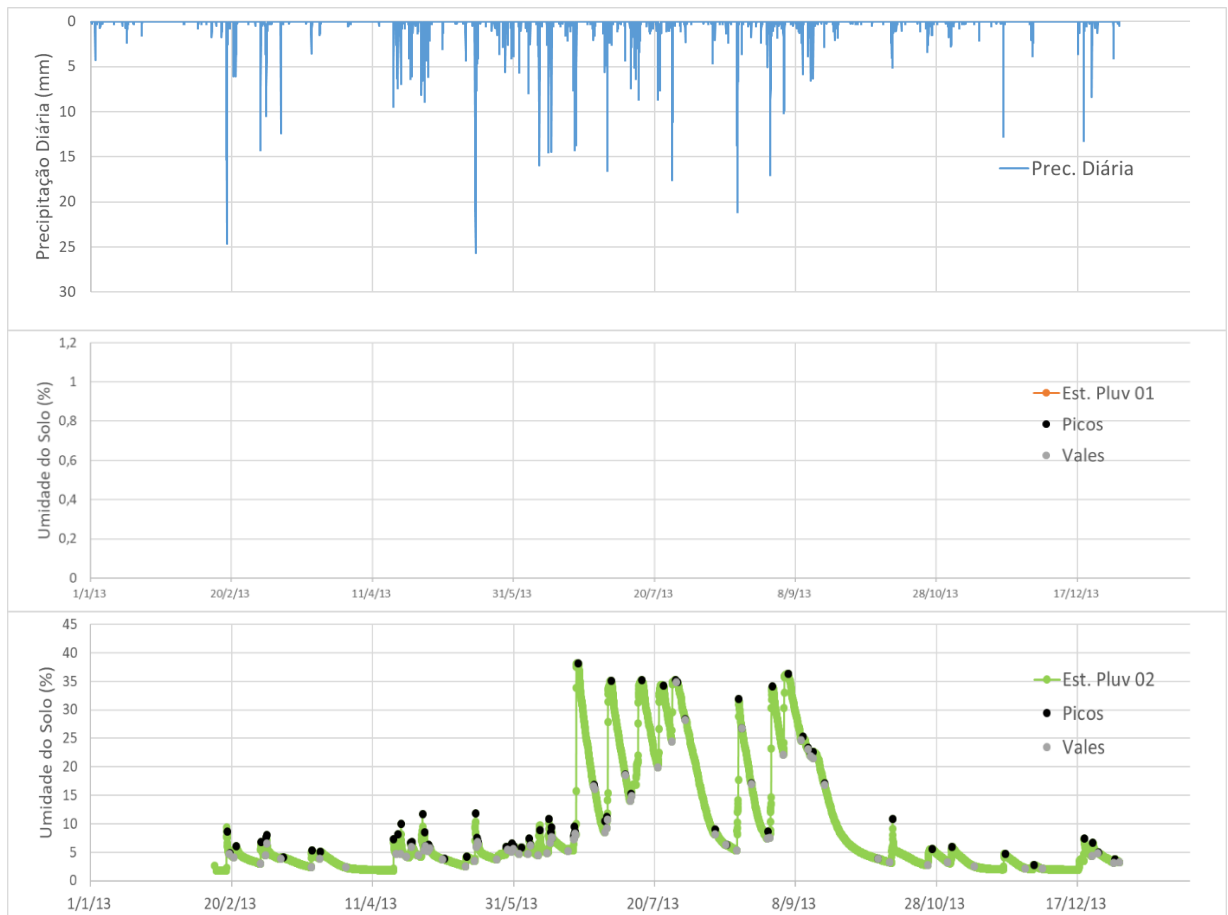


Figura 50 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2015 das estações analisadas.

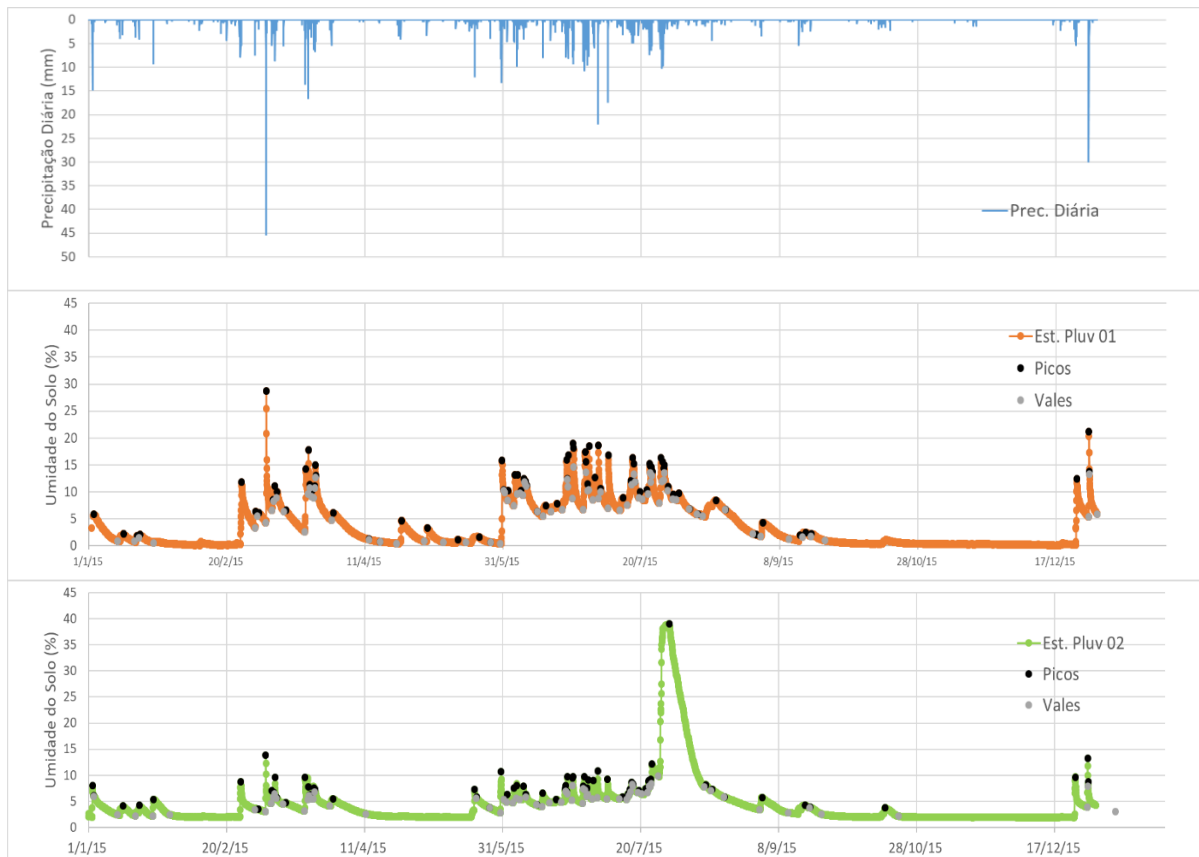


Figura 51 - Dinâmica da umidade do solo com respectivos eventos de secagem para o ano de 2016 das estações analisadas.

