



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Análise da qualidade das observações de umidade do solo, registradas pelas PCDs do INPE, sobre o semiárido brasileiro<sup>1</sup>**



*Cláudia Adam Ramos<sup>2</sup>; Pablo Javier Grunmann<sup>3</sup>; Pedro Leite da Silva Dias<sup>4</sup>; Clemente Augusto Souza Tanajura<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Pesquisa financiada pelo CT-Hidro/CNPq

<sup>2</sup> Matemática, Profª. Adjunta, ICSA/UNIFAL-MG, Fone: (35)3219-8704, [claudia.adam@unifal-mg.edu.br](mailto:claudia.adam@unifal-mg.edu.br)

<sup>3</sup> Meteorologista, Prof. Auxiliar, ICSA/UNIFAL-MG, [pablo.grunmann@unifal-mg.edu.br](mailto:pablo.grunmann@unifal-mg.edu.br)

<sup>4</sup> Matemático, Prof. Titular, IAG/USP, [plsdi@lcc.br](mailto:plsdi@lcc.br)

<sup>5</sup> Eng. Mecânico-Nuclear, Prof. Adjunto, UFBA, [cast@ufba.br](mailto:cast@ufba.br)

**RESUMO:** A umidade do solo é uma informação importante para as atividades agrícolas pois, por um lado, garante o abastecimento do lençol freático e, por outro lado, tem papel crucial para o desenvolvimento das culturas. Estimativas precisas de umidade do solo são fundamentais para determinar a frequência com que serão implementados os esquemas de irrigação. Neste contexto, a região do semiárido brasileiro, cujo bioma predominante é a caatinga, coloca-se como um dos locais onde mais se tem a ganhar com uma boa estimativa desta variável. Por saber que as Plataformas Automáticas de Coletas de Dados do INPE (PCDs) são vistas como uma fonte de informação de umidade do solo, este trabalho teve como objetivo aferir a qualidade destas observações. Para tal, foi feito o levantamento de quais eram as PCDs (efetivamente) ativas sobre o semiárido, e depois construiu-se um banco de dados com as quantidades de água no solo. Como a umidade do solo é uma informação que exibe uma grande variabilidade espacial, o procedimento de análise qualitativa dos dados dividiu-se em três etapas: verificou-se a consistência dos registros de quantidade de água no solo de uma camada do solo em relação a outra (para um mesmo perfil vertical); verificou-se se estes registros analisados eram sensíveis à variação na quantidade de água introduzida no sistema; e, finalmente, as leituras das PCDs foram comparadas com as estimativas produzidas pelo modelo de interação superfície-atmosfera NOAH. Com base nos resultados obtidos verificou-se: (1) apesar do sítio do SINDA/INPE apontar para 20 estações agrometeorológicas ativas sobre o semiárido, apenas 12 delas efetivamente tinham informações disponíveis; (2) o estudo da variação da umidade do solo em relação à precipitação foi inconclusiva, mas (3) houve boa compatibilidade entre os registros de umidade do solo das PCDs e as estimativas do NOAH.

**PALAVRAS-CHAVE:** Umidade do solo, Caatinga, Plataformas Automáticas.

### **Quality analysis of soil moisture observation, recorded by PCD of the INPE, on the Brazilian semiarid**

**ABSTRACT:** The soil moisture is an important information for agricultural activities because, on the one hand, guarantees the supply of groundwater and, on the other hand, plays a crucial role in the development of cultures. Accurate soil moisture estimates are essential to determine the frequency with which irrigation schemes will be implemented. In this context, the Brazilian semi-arid region, where the predominant biome is the Caatinga, positions itself as one of the emplacements where there is more to gain from a good estimate of this variable. Knowing that INPE's Automatic Data Collection Platforms (PCDs) are seen as a source of soil moisture information, this study aimed to assess the quality of these observations. To this end, we made a survey of what were the PCDs (effectively) active in the semi-arid region, and then built a database with the amounts of water in the soil. As soil moisture displays a large spatial variability, the procedure of qualitative data analysis was divided into three stages: first, the

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

consistency of soil moisture records for each layer depth relative to another (for the same vertical profile); second, it was verified whether the temporal variation of these records were sensitive to variations in the quantity of water introduced into the system; and finally, the PCD's readings were compared against estimates produced by simulations obtained with NCEP's NOAH model. Based on the results it was found: (1) although the SINDA/INPE's website shows links to 20 active agrometeorological stations in the semi-arid region, only 12 of them actually had information available; (2) the study of the variation of soil moisture in relation to precipitation was inconclusive, but (3) there was a good compatibility between soil moisture records of the PCDs and NOAH model estimates.

**KEY WORDS:** Soil Moisture, Caatinga, Automatic Platforms.

## **INTRODUÇÃO**

A umidade do solo é uma informação importante para implementação de qualquer projeto de agricultura/lavoura irrigável. Sabendo o quanto um solo possui de água disponível é possível calcular, exatamente, o quanto ele precisa receber, via irrigação, a fim de que a vegetação tenha um bom desenvolvimento. Paralelamente, nos dias atuais se vive um momento de grande preocupação com o manejo eficiente dos recursos hídricos, logo estudos sobre a umidade do solo, especialmente sobre a região do Semiárido Brasileiro, que se sabe possuir uma quantidade reduzida (menor que a média) de água, mostram-se pertinentes.

A umidade do solo é uma variável que pode ser obtida direta ou indiretamente. No caso de grandes áreas, independentemente do método utilizado, sempre é necessário algum esforço tecnológico, e também de tempo, para extrair informações sobre ela. Assim, qualquer um dos métodos que se escolha possuem aspectos positivos e negativos, e a opção por um deles deve ser feita com base na análise fenomenológica em desenvolvimento. Algumas alternativas são: balanço hídrico, sensoriamento remoto, reflectômetros de domínio de frequência (FDR) ou temporal (TDR), sendo que este último é do tipo responsável por permitir que o conteúdo de água no solo possa ser modelado (e registrado) em intervalos pequenos de tempo (BAKER e ALLMARAS, 1990).

Neste trabalho analisamos informações obtidas das Estações Agrometeorológicas com Plataformas Automáticas de Coletas de Dados (PCDs) mantidas pelo INPE. Se por um lado as PCDs podem ser vistas como uma boa fonte de dados, pois permitem o registro (e transmissão) da variável de interesse de forma regular e ininterrupta, com alta frequência temporal, por outro lado, elas são muito frágeis, pois são vulneráveis ao vandalismo e também a danos provocados por animais. Esta vulnerabilidade é percebida, e agravada, em virtude destas estações ficarem localizadas, diversas vezes, em regiões isoladas, de difícil acesso, o que faz com os sensores não possam ser reparados imediatamente após os danos sofridos (FERREIRA et. al, 2006).

No caso das PCDs mantidas pelo SINDA/INPE, apesar do instituto fazer um controle de qualidade de dados antes de disponibilizá-los para os usuários, também é possível perceber traços do que foi descrito acima. Assim, este trabalho tem como foco analisar as informações da quantidade de água no solo, provenientes das PCDs do SINDA/INPE, para a região do Semiárido Brasileiro, através da análise da qualidade das leituras, e posterior construção de banco de dados com valores médios diários, para a variável de interesse.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os dados de quantidade de água no solo utilizados referem-se a três diferentes profundidades: 10cm, 20cm e 40cm. Estas informações foram coletadas para o período de 2004 até 2011, as quais estavam sendo gravadas, e transmitidas, a cada 3hs (00hs, 03hs, 06hs, 09hs, 12hs, 15hs, 18hs e 21hs.).

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

A região de estudo foi o Semiárido Brasileiro que, do ponto de vista ambiental, pode ser caracterizado por sua vegetação ser predominantemente de caatinga e, do ponto de vista político, caracteriza-se por ser constituído a partir da união de municípios que exibem índice de aridez de Thornthwaite de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico para o período entre 1961 e 1990; e risco de seca maior que 60%, tomando por referência o período entre 1970 e 1990. Para fins políticos, o Semiárido Brasileiro engloba 1.133 municípios espalhados sobre nove estados da federação (a saber, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais.) (GALVÃO et al, 2005).

A análise da qualidade dos dados de umidade do solo foi desenvolvida em diferentes etapas, e sob diferentes perspectivas, mas sempre utilizando uma metodologia semelhante: a busca pela (co)relação entre variáveis que são (fisicamente) relacionadas e a (tentativa) de verificação de se as informações registradas estão de acordo com a realidade.

Neste sentido, a *Etapa 1* do trabalho focou em verificar, para cada uma das 20 estações agrometeorológicas sobre a região de interesse, se elas possuíam séries temporais referentes à quantidade de água no solo (para alguma das camadas do solo) e, no caso afirmativo, se estes valores eram aceitáveis, ou seja, se estavam entre 0 e 1 (sendo que: 0 – corresponde ao solo completamente seco; enquanto que 1 – corresponde ao solo completamente encharcado;). Nesta etapa procurou-se também identificar se existiam instantes (ou intervalos) de tempo em que a série temporal sofria interrupções. Sempre que se verificava uma situação indesejada (dado inválido ou inexistência de informação) a série era preenchida com o valor -711 (para facilitar a identificação futura). Devido ao volume de dados e também para facilitar a comparação com a umidade do solo proveniente de outras fontes (modelo de superfície, por exemplo), já nesta fase optou-se por calcular uma média diária para a umidade do solo.

A *Etapa 2* da pesquisa se dedicou a investigar, para as PCDs com dados válidos, se os registros eram (minimamente) coerentes. A ideia utilizada foi responder se a umidade do solo lida pelos sensores para a primeira camada do solo (10cm) exibia relação com a umidade do solo registrada para a segunda (20cm) e terceira (40cm) camada do solo.

A partir desta etapa foi desenvolvida uma análise qualitativa baseada na definição de umidade para a primeira camada do solo, que obedece a seguinte equação:

$$d_{z_1} \frac{\partial \theta_1}{\partial t} = - \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right]_{z_1} - K(\theta)_{z_1} + I - E_{dir} - E_{t_1} \quad (1)$$

sendo que

$D(\theta)$  é a difusividade da água na 1ª camada do solo;

$K(\theta)$  é a condutividade hidráulica na 1ª camada do solo;

$d_{z_1}$  é a espessura da 1ª camada do solo;

$I$  é a infiltração na superfície, dada por  $I = P_d - R_1$ ;

$P_d$  é a precipitação interceptada no dossel;

$R_1$  é o *runoff* na superfície;

$E_{dir}$  é a evaporação direta na camada superior do solo;

$E_{t_1}$  é a transpiração do dossel, associada à água retirada pelas raízes em cada camada do solo.

É interessante notar que a equação acima pode ser aproximada através da seguinte relação:

$$\Delta z_1 \left( \frac{\theta_1(t_0 + \Delta t) - \theta_1(t_0)}{\Delta t} \right) \approx I \quad (2)$$

Onde

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

$I$  é o acumulado no intervalo  $\Delta t$ , pois o efeito dos outros termos é pequeno em razão do curto intervalo de tempo considerado, e baseado nas condições típicas de eventos de precipitação (céu encoberto e alta umidade do ar, por exemplo) (RAMOS, 2013).

A *Etapa 3* do trabalho, com o propósito de aferir alguma informação adicional sobre a representatividade dos dados de quantidade de água no solo, consistiu em verificar a existência (ou não) de relação entre os eventos de precipitação e variação na umidade na primeira camada do solo. Os dados de precipitação considerados foram os disponibilizados por Princeton (SHEFFIELD, J., G., 2006) para serem utilizadas como condições de contorno nos modelos de superfície (forçantes atmosféricas). A razão de não ter sido utilizado dados de precipitação observados nas PCDs foi porque, normalmente, as estações meteorológicas e agrometeorológicas não estão instaladas no mesmo local. Assim, nos pontos em que haviam informações de umidade do solo, na maioria das vezes, não existiam informações de precipitação. Neste sentido as forçantes atmosféricas se colocaram como uma alternativa para esta realidade, fornecendo dados para todos os pontos de grade, especialmente, para onde estavam localizadas as PCDs utilizadas.

Na última fase (*Etapa 4*) do trabalho fez-se o desenvolvimento de uma comparação entre a evolução temporal da umidade do solo registrada pela PCD e a umidade do solo prevista pelo modelo de superfície NOAH. NOAH é um modelo que pode ser acoplado ao atmosférico e, por esta razão, é utilizado em alguns centros de pesquisas meteorológicas. Nele o solo está dividido em 4 camadas, as quais são caracterizadas/diferenciadas pelo tipo de raízes que podem ser encontradas nelas. Assim, por uma questão de uniformidade, adotou-se que: Camada 1 do solo - 0 até 10cm; Camada 2 do solo - 10cm até 40cm; Camada 3 do solo - 40cm até 100cm; Camada 4 do solo - 100cm até 200cm.

Ao adotar a padronização acima (para as camadas do solo) foi necessário estabelecer uma forma de relacionar as estimativas do modelo com as leituras dos sensores. A ideia foi utilizar, como referência, a profundidade média de cada camada. Assim, no caso da primeira, a profundidade média considerada foi 5cm, enquanto que para a segunda adotou-se 25cm. Como decorrência disso, os novos valores associados às PCDs foram obtidos realizando uma pequena extrapolação, para estimar a quantidade de água no solo na camada 1; e uma interpolação, para obter a umidade do solo referente à camada 2. Para tal utilizou-se aproximação linear local.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho, cujo objetivo principal foi analisar a qualidade das informações de umidade do solo para a região do Semiárido Brasileiro, foi desenvolvido em etapas. Estas *Etapas* foram descritas, brevemente, na seção anterior.

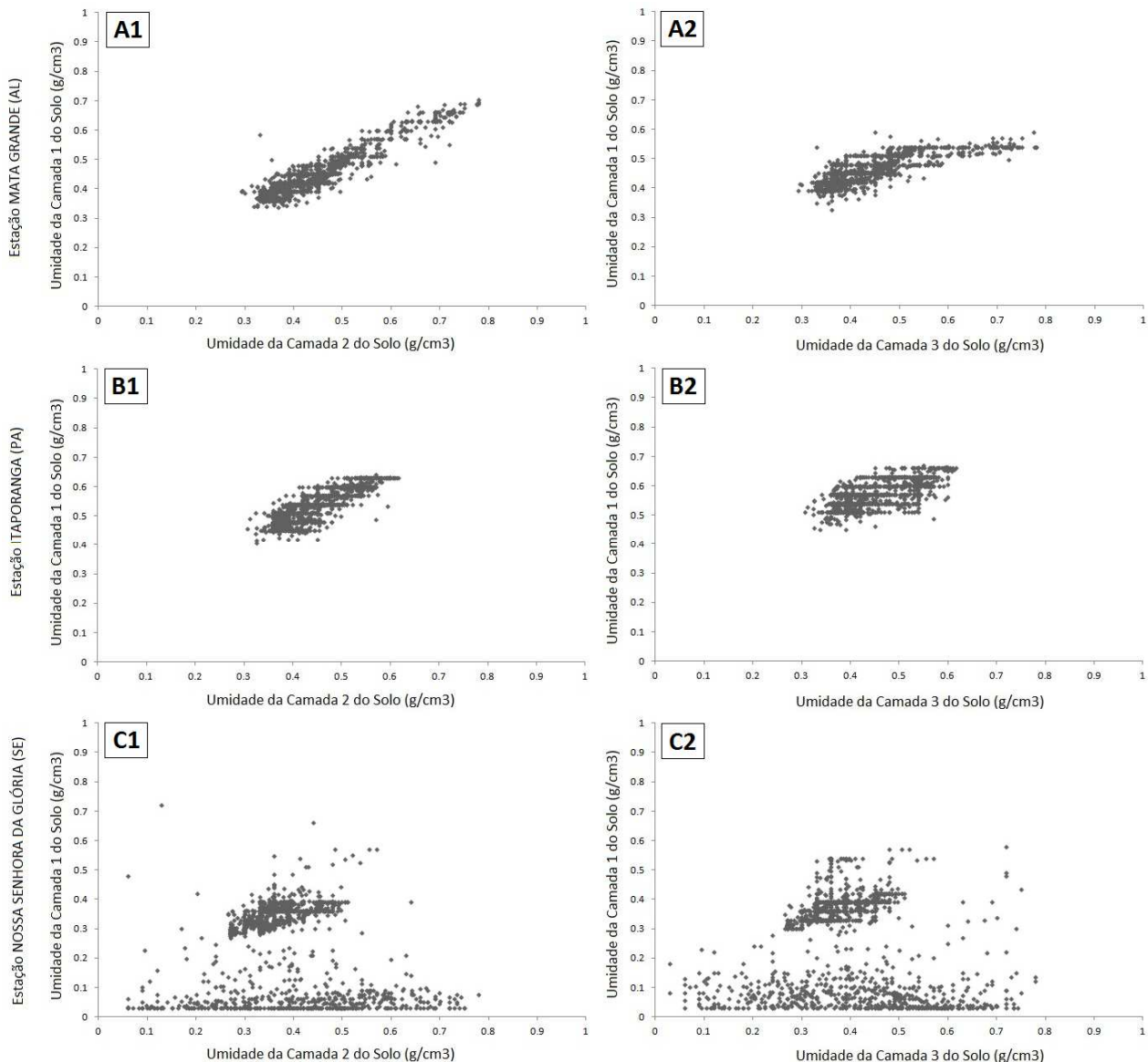
Após a verificação da existência (ou não) de registros de umidade do solo em cada uma das 20 PCDs que constavam como ativas sobre a região de estudo, se percebeu que 12 eram as que efetivamente possuíam séries temporais com dados válidos (**Tabela 1**). Das 8 PCDs que não apresentavam informações, a maior parte estavam localizadas no Rio Grande do Norte. Nestas, apesar de constar como ativas, ou não tinham quaisquer registros ou todos os que tinham eram inválidos (ou seja, fora da faixa de valores aceitos). Esta primeira triagem foi a *Etapa 1* do trabalho.

**Tabela 1.** Tabela que relaciona a PCD ao período em que permaneceu ativa. Trata-se de PCDs localizadas sobre o Semiárido Brasileiro. As células hachuradas indicam a presença de dados de umidade do solo para, pelo menos, uma das 3 camadas do solo.

PCDs	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Monsenhor Hipolito								
Martins								
Parelhas								
Sertania								
Catole Rocha								
Itaporanga								
Picuí								
Belém S. Francisco								
Mata Grande								
Santana Ipanema								
N. S. Gloria								
Poço Redondo								

Todas as análises desenvolvidas nas *Etapas* de 2 até 4 foram realizadas tomando como base o ano de 2006. A razão desta escolha baseou-se em dois fatores: (1) este era um ano em que todas as PCDs possuíam dados; (2) o conjunto de forçantes atmosféricas de Princeton, disponível para fazer o estudo, só possuía dados para o período de 2000 até 2006.





**Figura 1.** Controle de Qualidade das leituras de quantidade de água no solo, registradas nas PCDs sobre o Semiárido. À esquerda, gráfico de dispersão para as camadas 1 e 2 do solo, enquanto à direita gráfico de dispersão para as camadas 1 e 3 do solo. (A1) e (A2) Mostram um exemplo de boa relação entre as observações entre as camadas do solo; (B1) e (B2) Exemplo de associação média exibida quando observadas as umidades das diferentes camadas do solo; (C1) e (C2) Exibem má relação entre as umidades lidas, para as diferentes camadas do solo.

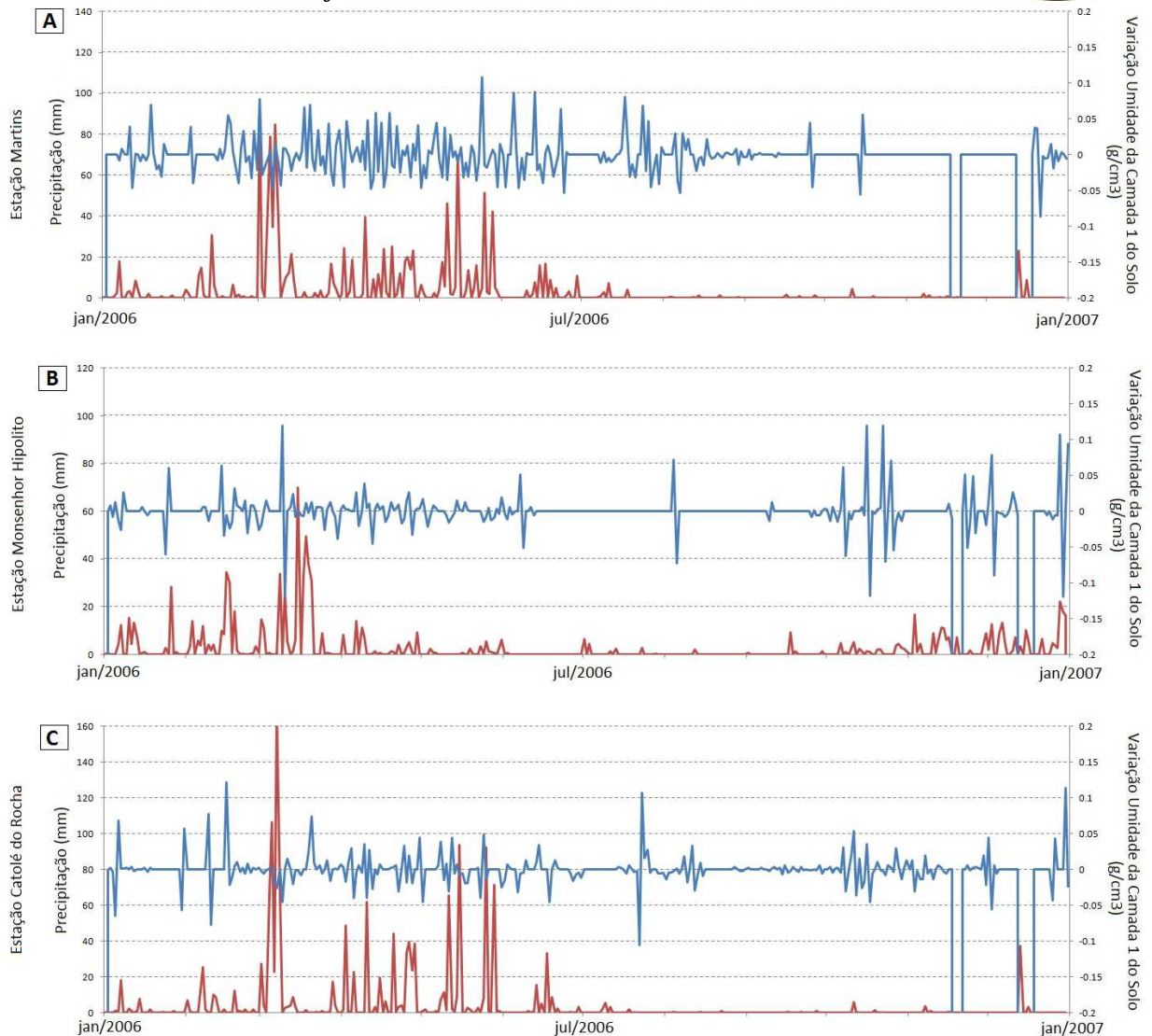
A **Figura 1** exibe alguns dos resultados do estudo sobre a relação da umidade do solo entre a primeira e as demais camadas (segunda e terceira). Na Figura 1 pode-se ver 3 situações típicas: forte relação entre as leituras de umidade das camadas (casos A1/A2); boa relação entre os registros de umidade do solo das camadas (casos B1/B2); e fraca relação entre a umidade nas diferentes camadas do solo (casos C1/C2). Apesar de não oferecer respostas conclusivas, esta análise possibilita algumas considerações: (1) poucas PCDs (apenas 2 – N. S. Glória e Parelhas) indicaram que os registros dos sensores, numa mesma coluna vertical, tinham pouca relação. Para estes casos o que se verificou foi que os dados esparsos coincidiram com aquelas plataformas que mostraram interrupções nas suas séries

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

temporais. (2) a maioria das PCDs (9 delas) tem comportamento semelhante à Figura 1-B, ou sejam, boa relação entre a umidade nas camadas.

A **Figura 2** exhibe, para três diferentes PCDs (Martins, Monsenhor Hipolito e Catolé do Rocha), a evolução temporal da variação da umidade do solo na primeira camada versus a precipitação incidente no local. O comportamento das variáveis analisadas visualizado na Figura 2 é semelhante ao observado nas demais plataformas. De maneira global, o que se percebe é que o período chuvoso coincide com o período com maior flutuação da umidade na camada superior do solo, enquanto que para período mais seco observa-se uma correspondente diminuição da variação da quantidade água no solo. No entanto, localmente, nem sempre é possível notar boa concordância entre precipitação e variação da umidade do solo. Existem diversos momentos em que os sensores parecem não perceber a introdução de água no sistema.

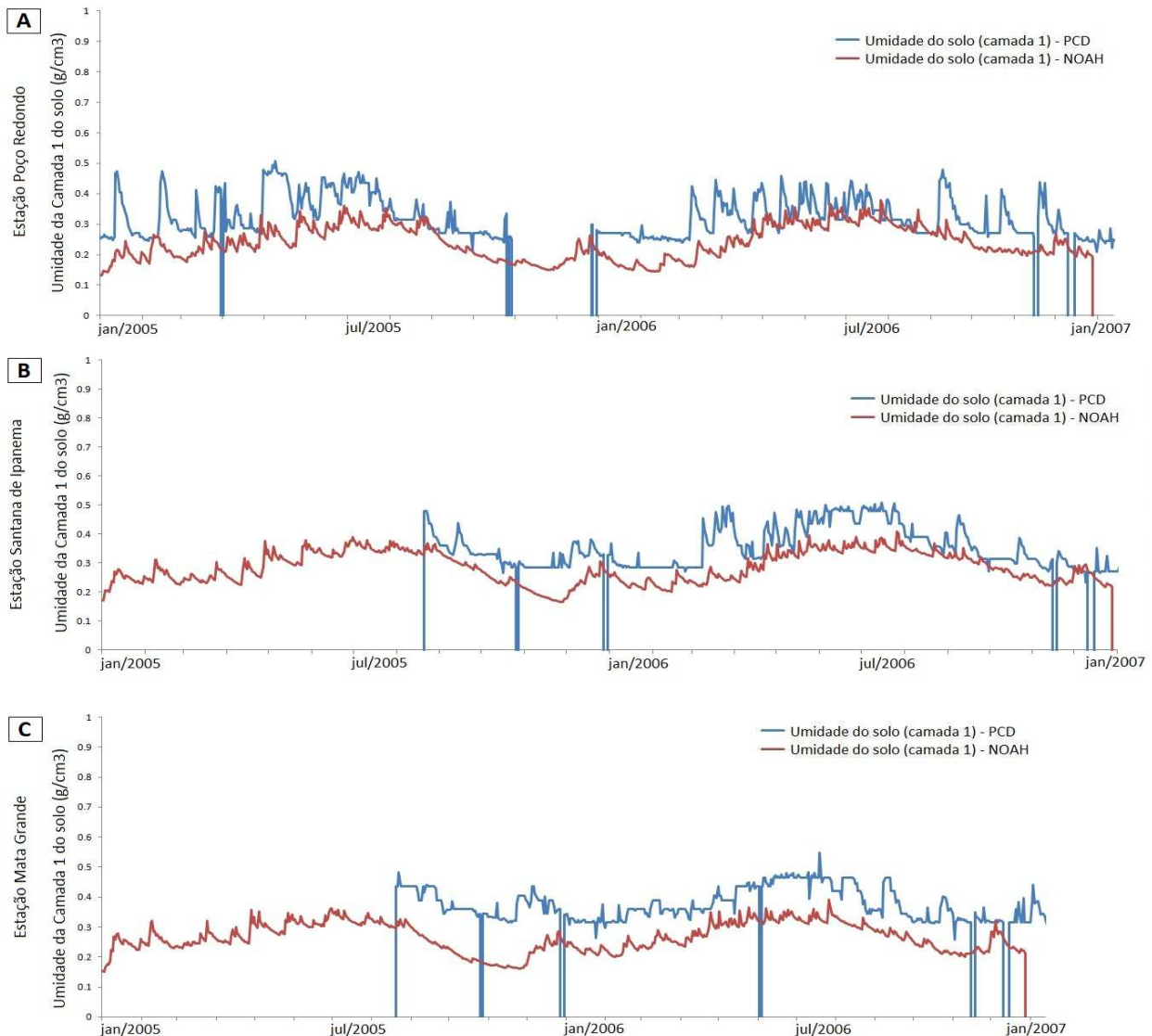
O resultado obtido foi diferente do que se acreditava obter. Imaginava-se que existiriam estações em que os registros de umidade do solo responderiam bem às variações na precipitação, enquanto em outras os registros de umidade do solo se mostrariam indiferentes às chuvas. Uma possível explicação para os resultados encontrados pode estar associada à fonte dos dados de precipitação. Como os valores utilizados foram extraídos do conjunto de forçantes atmosféricas de Princeton, o qual utiliza um mesmo valor para uma região de 100km<sup>2</sup> (ponto de grade), tem-se que os dados utilizados são médias da chuva para a área. E, por se tratar de uma média, seu valor quase que certamente não coincide com a série histórica para um ponto particular (interior à região).



**Figura 2.** Comparação entre a variação da umidade na primeira camada do solo (azul) e a precipitação (vermelho) para o ano de 2006. (A) Estação Martins; (B) Estação Monsenhor Hipólito; (C) Estação Catolé do Rocha.

A *Etapa 4* do trabalho resultou na **Figura 3**. Nela são mostradas as comparações entre a umidade do solo lida pelos sensores nas plataformas automáticas de coleta de dados e as estimativas de umidade do solo gerada pelo modelo de superfície NOAA. Para a realização destes experimentos o período de tempo considerado foi alterado. Com o propósito de melhor identificar as similaridades entre as duas séries temporais, optou-se por adotar os anos de 2005 e 2006 para desenvolver o estudo.



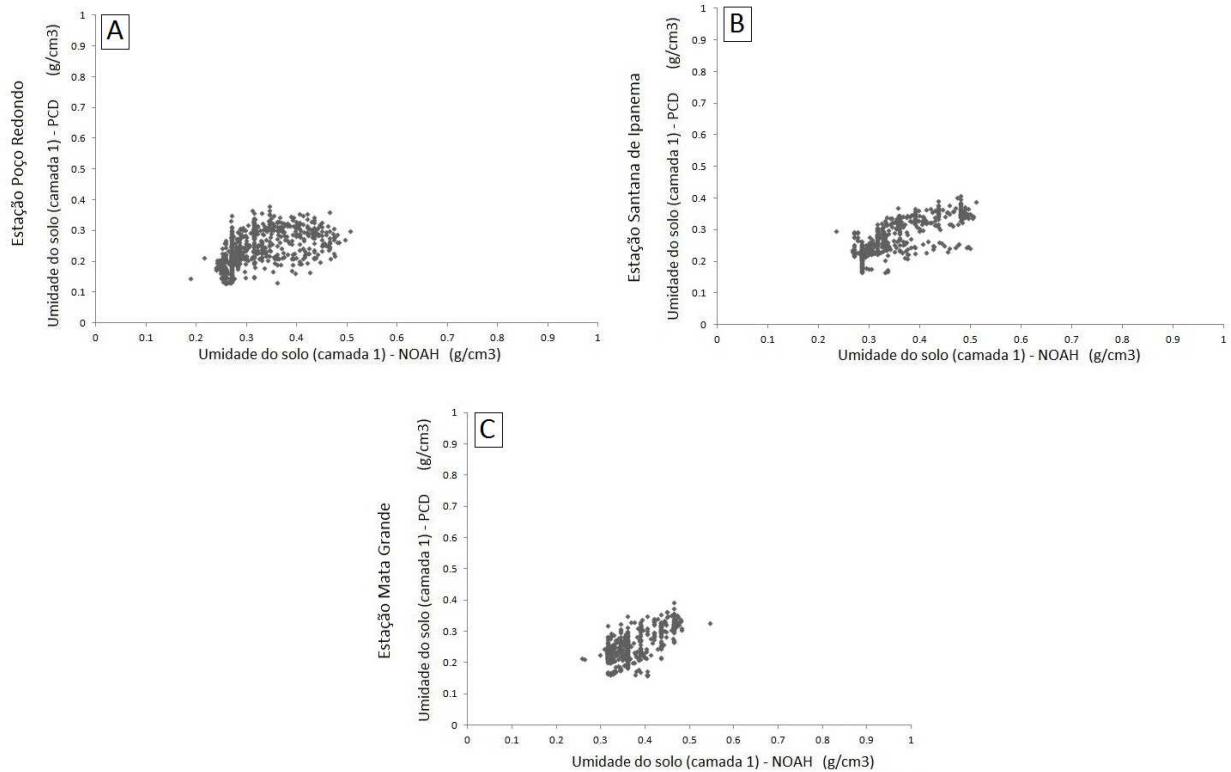


**Figura 3.** Comparação entre a umidade do solo registrada pela PCD (azul) versus a umidade do solo estimada pelo modelo de superfície NOAH (vermelho), ambos referentes à primeira camada do solo. (A) Estação Poço Redondo; (B) Estação Santana de Ipanema; (C) Estação Mata Grande.

Globalmente, pode-se dizer que as duas séries temporais tiveram o mesmo padrão de comportamento, ou seja, de uma forma geral as leituras dos sensores das plataformas registraram as mesmas variações (ao longo do ano), na quantidade de água no solo, do que foi estimado pelo modelo de superfície. Localmente, o que se verificou foi que as duas fontes de dados, na maioria das vezes, não concordavam sobre o valor em si da umidade do solo e também não coincidiam exatamente em quais dias que a variação no volume de água estava ocorrendo.

Uma possível explicação para tal cenário pode ser: (1) da mesma maneira que houve uma perda de qualidade nos resultados da análise anterior em virtude das PCDs fornecerem dados, geograficamente falando, de forma pontual, ao passo que a outra fonte de dados gera estimativas para uma área, esta característica aqui também acabou influenciando negativamente nos resultados das análises; (2) A **Figura 4** exibe, de outra maneira, a relação entre as umidades observada e estimada pelo modelo. Através dela é possível perceber que existe uma relação satisfatória entre as informações de umidade do solo para as diferentes fontes. (3) o principal aspecto negativo da série temporal com dados das PCDs

está na irregularidade da frequência temporal, ou seja, na inexistência de informações para alguns dias do período considerado;



**Figura 4.** Gráfico de dispersão para a umidade registrada pela PCD versus umidade do solo estimada pelo modelo de superfície NOAH, ambos referentes à primeira camada do solo. (A) Estação Poço Redondo. (B) Estação Santana de Ipanema. (C) Estação Mata Grande.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa desenvolvida é possível concluir, em relação à qualidade dos dados de umidade do solo registrados pelas PCDs mantidas pelo INPE sobre o Semiárido Brasileiro que:

- Apesar de constarem, oficialmente, 20 estações agrometeorológicas como ativas, ou seja, registrando e transmitindo, entre outras variáveis, a quantidade de água no solo (para 10cm, 20cm e 40cm), 8 delas não possuem séries temporais com dados da variável de interesse.
- Para as 12 estações (efetivamente) ativas, os dados passam a existir a partir de meados de 2004/2005.
- Duas destas estações ativas (N. S. Glória e Parelhas) possuem séries temporais de dados de umidade do solo altamente fragmentada, comprometendo a confiabilidade nos dados.
- Quando analisada a consistência dos dados de umidade, para cada PCD, relacionando os valores para um mesmo perfil vertical, ou seja, analisando a existência de relação entre os valores da primeira e segunda camada do solo e, depois, entre os valores da primeira e terceira camada do solo, observou-se que 10 delas exibiam uma (co)relação boa ou ótima, donde segue que se pode considerar que estes registros são (internamente) coerentes.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

- Quando comparada a variação da umidade do solo da PCD com os dados de precipitação percebeu-se que, globalmente, que existe uma leve coerência entre os registros. No entanto, só este resultado não é suficiente para falar nada sobre a qualidade dos dados das PCDs.
- Ao comparar observações de umidade do solo das PCDs com as estimativas do modelo de superfície para a mesma variável notou-se que o padrão anual dos valores era o mesmo, muito embora em alguns locais as PCDs exibissem, regularmente, valores maiores que o NOAA. Apesar disso, apoiado também no gráfico de dispersão, pode-se concluir que existe boa compatibilidade entre os valores das duas diferentes fontes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER e ALLMARAS, 1990 Baker, J. M.; Allmaras, R. R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by time domain reflectometry. **Soil Science Society American Journal** , v. 54, n. 1, p. 1 - 6, 1990.

FERREIRA, A. L. T. et al. **Implementação de sistema para controle de qualidade de dados meteorológicos da rede de PCDs do INPE**. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, SC, 2006.

GALVÃO, A. C. F., et. al. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Relatório Técnico. Ministério da Integração Social. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005.

RAMOS, C. A. **Avaliação do impacto da assimilação de dados de umidade do solo nas variáveis hidroclimatológicas sobre o Semiárido Brasileiro e sobre a Bacia do Prata**. 2013. 154p. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional) – Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, RJ, 2013.

SHEFFIELD, J., G., et al. 2006: Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling, **J. Climate**, 19 (13), 3088-3111.