



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS CAMPOS DE UMIDADE DA AMÉRICA DO SUL

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

Renata Auxiliadora dos Santos (FATEC, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: renata.santos@inpe.br

Daniel Andrés Rodriguez (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: daniel.andres@inpe.br

COLABORADOR
José Lázaro de Siqueira Júnior (CCST/INPE)
E-mail: jose.lazaro@cptec.inpe.br

Julho de 2014

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Renata Auxiliadora dos Santos**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Variabilidade Climática dos Campos de Umidade da América do Sul.**

Tipo de bolsa: **Bolsa PIBIC-IC**

Período: **Agosto/2013 – Agosto/ 2014**

RESUMO

No INPE vem sendo utilizado em forma operacional um Modelo Simples de Água no Solo (MSAS) que determina o campo de umidade para todo o Brasil. O mesmo utiliza as informações disponíveis de precipitação e de evapotranspiração potencial, calculada a partir de variáveis meteorológicas e uma classificação e parametrização do solo desenvolvida com base em informações de perfis de solos sobre toda a América do Sul.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é descrever a variabilidade climática e espacial da umidade do solo simulada sobre a América do Sul e apresentar informações de umidade do solo factíveis de serem utilizadas em modelos atmosféricos como condições iniciais. Primeiramente foi realizado um levantamento das informações hidrometeorológicas disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, no Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e na Agência Nacional de Águas - ANA, que permitam a estimativa da evaporação potencial. A partir das informações obtidas foram calculados os campos interpolados para a América do Sul para as variáveis: precipitação e evapotranspiração diária. Logo, realizou-se um controle de qualidade das variáveis de referência através da análise estatística dos campos interpolados diários, acumulados mensal e anual. Esta metodologia permite identificar regiões que apresentam desvios elevados, podendo concentrar o esforço nas mesmas a fim de reconhecer as estações de observação que são fontes de erro. As climatologias de umidade do solo obtidas para as diferentes regiões brasileiras são consistentes com as características hidroclimáticas.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Objetivos	2
3. Material e Métodos	2
3.1. Dados de solos	2
3.2. Dados meteorológicos	2
3.2.1. Precipitação	4
3.2.2. Evapotranspiração	4
3.2.3. Modelo Simples de Água no Solo	6
4. Resultados e Discussão	8
4.1. Climatologia	8
5. Considerações Finais	13
6. Referências Bibliográficas	13

Lista de Figuras

Figura 1 - Estações que contém dados de nebulosidade no período 1997 – 2013.	3
Figura 2 - Estações que contém dados de radiação por satélite no período 1978 – 1982.	3
Figura 3 - Estações que contém dados de nebulosidade no mês de Janeiro de 1997. .	5
Figura 4 - Estações que contém dados de radiação por satélite no mês de Janeiro de 1997.	6
Figura 5 - Mapa das Regiões onde foram feitas as climatologias.....	8
Figura 6- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Norte da Amazônia.....	9
Figura 7- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Leste da Amazônia.....	10
Figura 8- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sul da Amazônia.....	10
Figura 9- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Centro-Oeste.....	11
Figura 10- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Nordeste.....	11
Figura 11- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sudeste.	12
Figura 12- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sul.	12

1. Introdução

A umidade do solo é uma das principais forçantes, junto com a vegetação, que controlam a partição de energia em superfície entre calor sensível e calor latente, afetando os balanços de água e energia (Dirmeyer et al, 1999, 2000). Esta partição de energia na superfície impacta os processos na atmosfera em diferentes escalas temporais e espaciais (Entekhabi et al, 1996) e a estrutura da camada limite (Reen et al, 2006). Por isso, a representação temporal e espacial da umidade do solo em modelos atmosféricos constitui um material de grande importância no prognóstico numérico de tempo e clima.

Nas últimas décadas, numerosos trabalhos têm mostrado a sensibilidade dos prognósticos de tempo e clima à inicialização dos campos de umidade no solo, e portanto, a importância de contar com informações confiáveis destes campos (Doyle et al, 2013; Dirmeyer, 2000; Zhang et al, 1999). Muitos modelos atmosféricos utilizam conjuntos de dados globais de umidade e classificação de solos, o que compromete o desempenho dos prognósticos a nível regional. A utilização de uma classificação de solos baseada em características hidrológicas, junto com dados mais realísticos de umidade do solo como condição inicial, favorecem a obtenção de melhores prognósticos (Doyle et al, 2013).

Existem diferentes metodologias para a medição desta variável em superfície, mas a obtenção de dados observados em grandes superfícies, para todo o Brasil, por exemplo, requer recursos diversos, além da alta complexidade inerente no processo. Ainda, a obtenção de informações de umidade do solo através de dados de sensores em plataformas de satélites tem experimentado grandes avanços durante as últimas décadas, mas sua confiabilidade ainda é restrita a regiões de pouca cobertura vegetal e em uma profundidade pequena do solo (Seneviratne et al, 2010). Existem, no entanto, métodos de estimativa de umidade do solo através de modelos de balanço, que utilizam dados meteorológicos na determinação das variáveis de entrada-saída e observações das características hidrológicas do solo.

2. Objetivos

Os objetivos do trabalho são:

- Descrever a variabilidade climática e espacial da umidade do solo simulada sobre a América do Sul.
- Desenvolver informações de umidade do solo factíveis de serem utilizadas em modelos atmosféricos como condições iniciais.

3. Material e Métodos

3.1. Dados de solos

Inicialmente, foi realizado um levantamento das informações das características hidrológicas com base nos dados existentes de perfis de solos distribuídos no Brasil, Paraguai, Uruguai, Argentina, juntamente com as informações de solos da FAO (2007), as quais serão utilizadas para complementar o mapa de classificação de solos, juntamente com seus parâmetros hidrológicos associados, sobre todo o continente, seguindo a metodologia de Doyle et al (2013).

3.2. Dados meteorológicos

A pesquisa foi feita a partir das bases de dados meteorológicas no banco de dados do INPE, cujo intuito foi identificar as estações com informações disponíveis de nebulosidade e/ou radiação. Como resultado, foram encontrados dados sinópticos de estações meteorológicas, retirado do banco de dados climáticos do INMET, onde as informações utilizadas foram: código da estação, longitude, latitude, nebulosidade e/ou radiação no período de 1970-2013. As figuras 1 e 2 mostram as estações coletadas entre os anos 1978 e 2013.

A partir desses dados foi elaborada uma lista para cada estação referente ao período de 1970-2013, contendo as informações meteorológicas diárias.

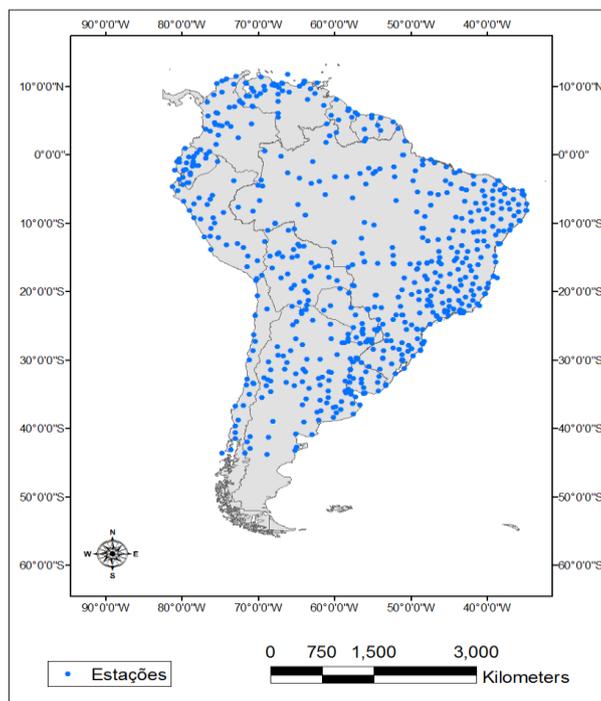


Figura 1 - Estações que contém dados de nebulosidade no período 1997 - 2013.

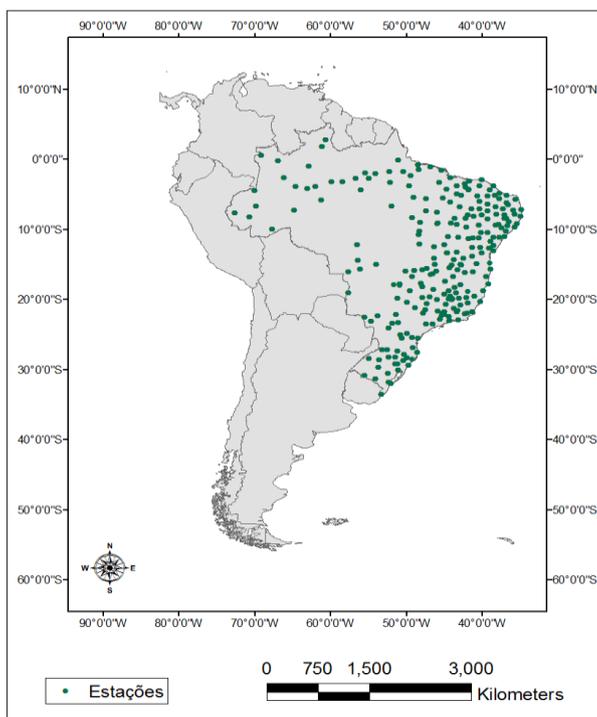


Figura 2- Estações que contém dados de radiação por satélite no período 1978 - 1982.

3.2.1. Precipitação

A série de precipitação utilizada foi obtida a partir da base de dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e do INMET, a mesma foi submetida a um controle de qualidade através da análise estatística dos campos interpolados mensais e anuais. Esses campos diários de precipitação foram utilizados para alimentar o Modelo Simples de Água no Solo (MSAS).

3.2.2. Evapotranspiração

O cálculo da evapotranspiração potencial de referência diária foi realizado a partir dos dados das estações meteorológicas existentes no INPE. Os dados utilizados foram: radiação, temperatura ambiente, temperatura no ponto de orvalho, velocidade do vento e nebulosidade.

A evapotranspiração potencial foi calculada conforme o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A fórmula da equação é a seguinte:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + p_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + y \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (1)$$

Onde: R_n é a radiação líquida, G é o fluxo de calor no solo, $e_s - e_a$ representa o déficit de pressão de vapor do ar, p_a é a densidade média do ar em uma pressão constante, c_p é o calor específico do ar, Δ representa o declive da relação de temperatura e pressão de vapor de saturação, y é a constante psicométrica, e r_s e r_a são o (volume) da superfície e resistências aerodinâmicas (Allen et al., 1998).

Os dados existentes nas bases de dados consultadas fornecem informações de radiação ou nebulosidade, dependendo da estação e do período consultado. Por este motivo, o cálculo da evapotranspiração foi dividido em duas metodologias, aplicando os diferentes dados. As estações com

informações de nebulosidade se concentram no período de 1997 e 2013, enquanto aquelas que fornecem dados de radiação se concentram entre 1978 e 1982. Esta diferença dificulta a obtenção de uma série histórica de dados de evapotranspiração desde a década de 70 até a atualidade.

Devido a esta diferença, utilizamos somente os dados de nebulosidade para o cálculo de evapotranspiração, que conforme a figura 3 apresenta os dados para maior parte das regiões, já os dados de radiação estão em falta, como é mostrado na figura 4.

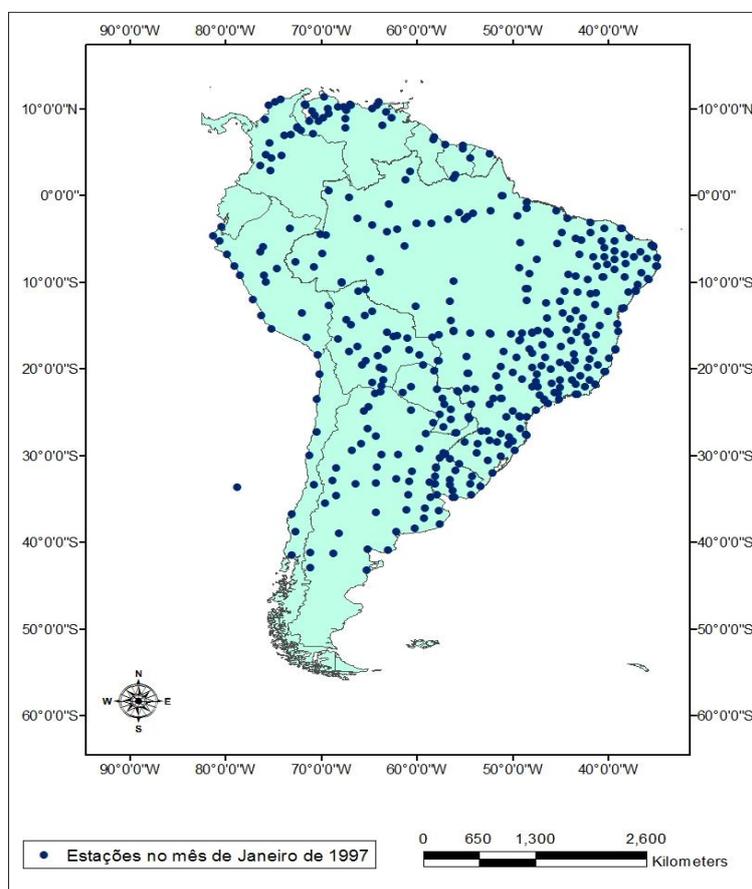


Figura 3- Estações que contém dados de nebulosidade no mês de Janeiro de 1997.

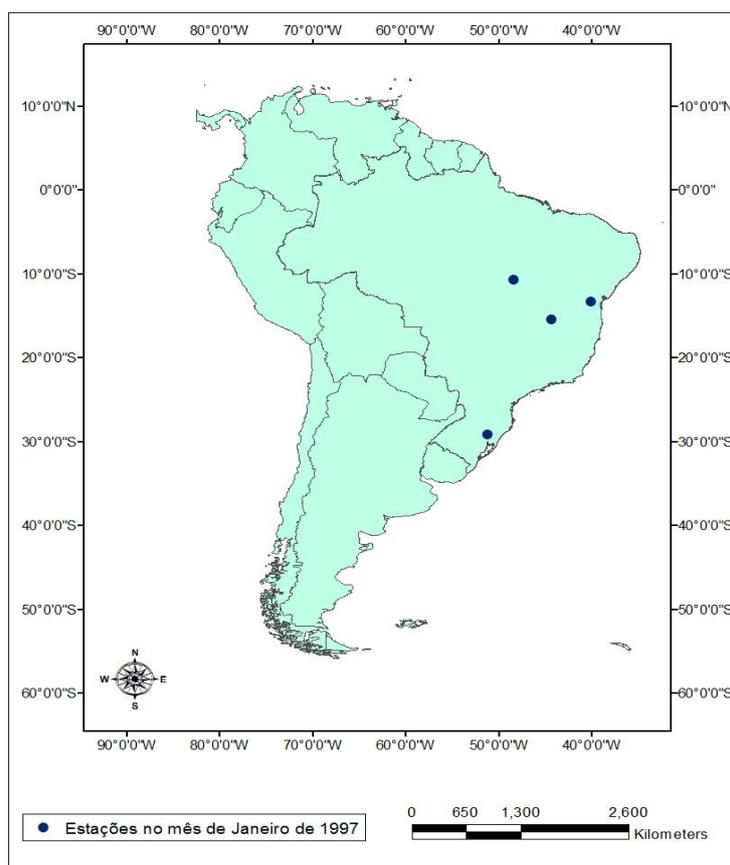


Figura 4- Estações que contém dados de radiação por satélite no mês de Janeiro de 1997.

Assim como os dados diários de precipitação, os valores de evapotranspiração contribuíram para alimentar o MSAS.

3.2.3. Modelo Simples de Água no Solo

O Modelo Simples de Água no Solo utilizado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) foi desenvolvido para determinar os campos de umidade para todo Brasil. Este modelo foi utilizado em estudos científicos e no monitoramento de umidade do solo voltado para a agricultura e processos associados à seca (Rossato et al, 2002; Rodriguez e Tomasella, 2004).

O Modelo Simples de Água no Solo utiliza como entradas a precipitação e a evapotranspiração potencial em campos interpolados. A evapotranspiração

real (ETR) é calculada de forma linear a partir da evapotranspiração potencial (ETP) utilizando o conteúdo de umidade atual no solo (S) e o conteúdo de umidade crítico (AFD - Água Facilmente Disponível) (Rodriguez e Tomasella, 2004). Também é feito no modelo o cálculo da drenagem profunda, onde é calculada a variação do armazenamento correspondente, obtendo a dinâmica de verificação do solo.

Para sua aplicação no Modelo Simples de Água no Solo, a determinação dos parâmetros do solo é feita utilizando-se de uma base de dados com as características texturais obtidas de perfis de solos espalhados por todo o Brasil. Esses parâmetros são obtidos com a aplicação de funções de pedo-transferência (Tomasella et al., 2005). Com base nesses parâmetros, Doyle et al (2013) desenvolveram uma classificação de solos para todo o Brasil, que foi incorporada num modelo atmosférico regional. A utilização dessa classificação, junto com as condições iniciais de umidade do solo obtidas com o MSAS produziram melhorias no prognóstico de volume de precipitação de um evento na região sul-sudeste da América do Sul (Doyle et al, 2013).

No desenvolvimento deste trabalho, o domínio do mapa de solos obtido por Doyle et al (2013) foi ampliado para cobrir toda América do Sul. Nesse sentido, foram utilizados dados de perfis de solos (Tomasella et al 2005) juntamente com informações de classificação de solos da FAO (2007). Esse novo mapa foi utilizado no MSAS para obter campos diários de umidade do solo para o período 1997-2013. O MSAS foi alimentado com informações meteorológicas coletadas pelo INPE, de diferentes centros de observação em países da América do Sul. Estes dados foram submetidos a um controle de qualidade, que permitiram obter campos consistentes de precipitação e evapotranspiração potencial que alimentaram o MSAS. A partir dos campos de umidade do solo, precipitação e evapotranspiração obtidos foi analisada a variabilidade espacial e temporal dos mesmos sobre América do Sul e sua relação com a variabilidade climática no continente.

4. Resultados e Discussão

4.1. Climatologia

A climatologia de umidade do solo foi gerada mensalmente e dividida por regiões, entre os períodos de 1997 a 2013. As análises permitiram identificar o comportamento climatológico do armazenamento de água no solo e sua relação com as variáveis climáticas. As regiões escolhidas foram: Norte da Amazônia, Sul da Amazônia, Leste da Amazônia, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, totalizando sete regiões como mostra a figura 5.

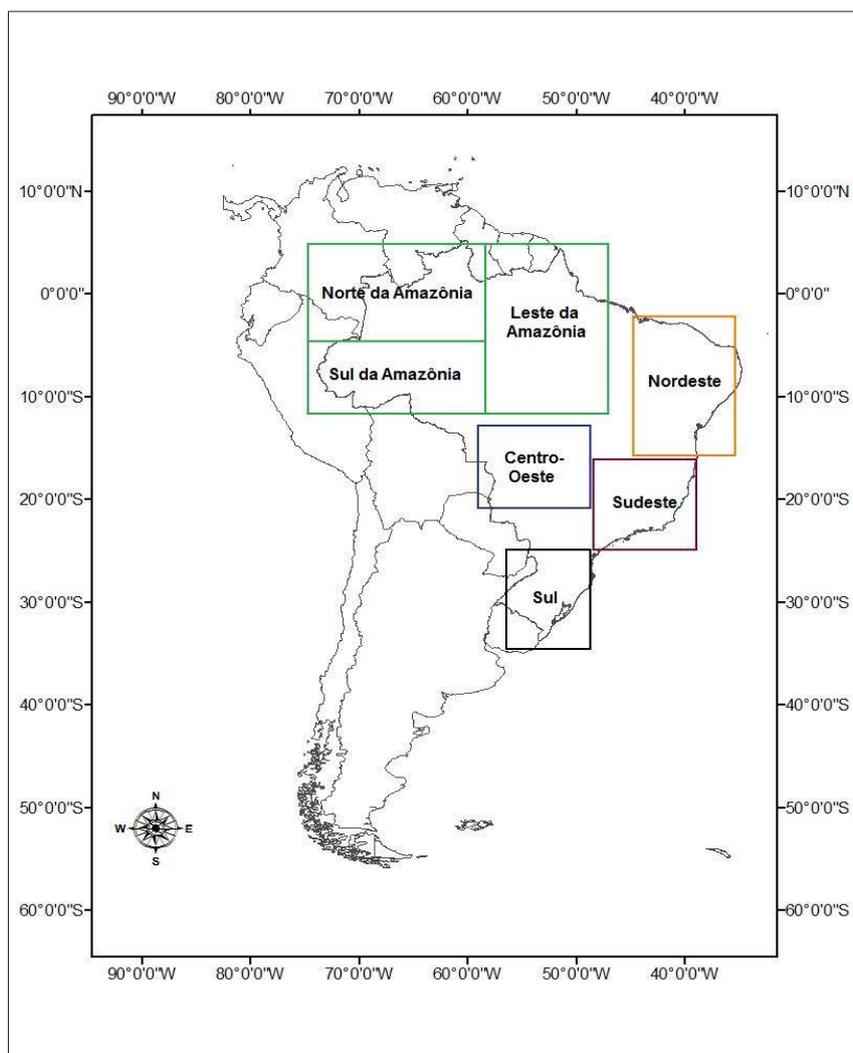


Figura 5- Mapa das Regiões onde foram feitas as climatologias.

A partir da climatologia foi calculada a média espacial para as variáveis: precipitação, evapotranspiração e o armazenamento de água no solo. Para uma melhor análise, foi elaborado um gráfico para cada região com a média mensal das variáveis no período de 1997 a 2013.

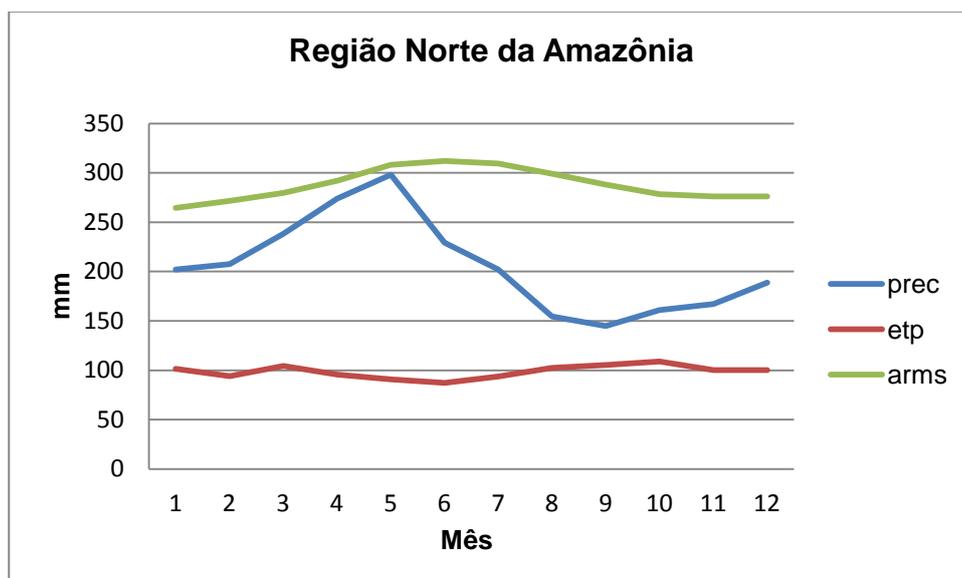


Figura 6- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Norte da Amazônia.

Na região Norte da Amazônia a quantidade de água no solo apresenta um pequeno ciclo sazonal, associado principalmente à variação da precipitação (Figura 6). Na região Leste da Amazônia, a maior variação sazonal da precipitação resulta em uma maior variação da umidade do solo, com máximos no mês de Abril e mínimos no mês de Outubro (Figura 7). Também na região Sul da Amazônia pode ser observado este comportamento (Figura 8). As altas precipitações durante o período úmido garante a manutenção da umidade do solo durante os meses mais secos (Figura 7 e 8).

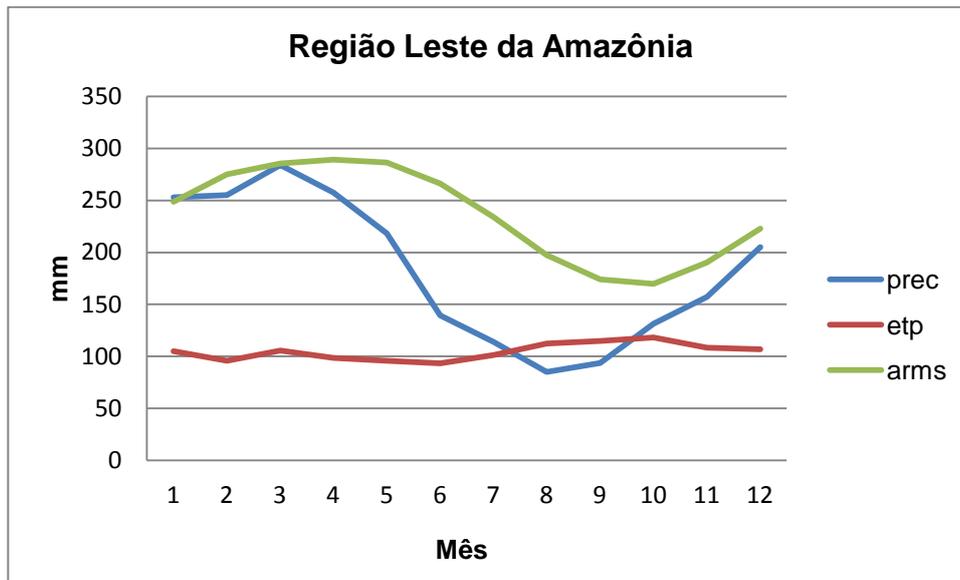


Figura 7- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Leste da Amazônia.

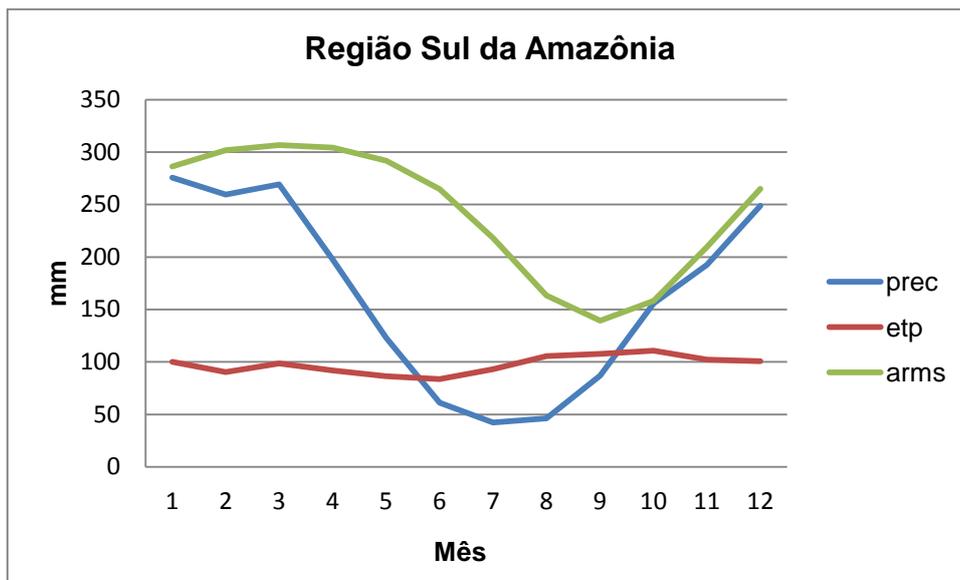


Figura 8- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sul da Amazônia.

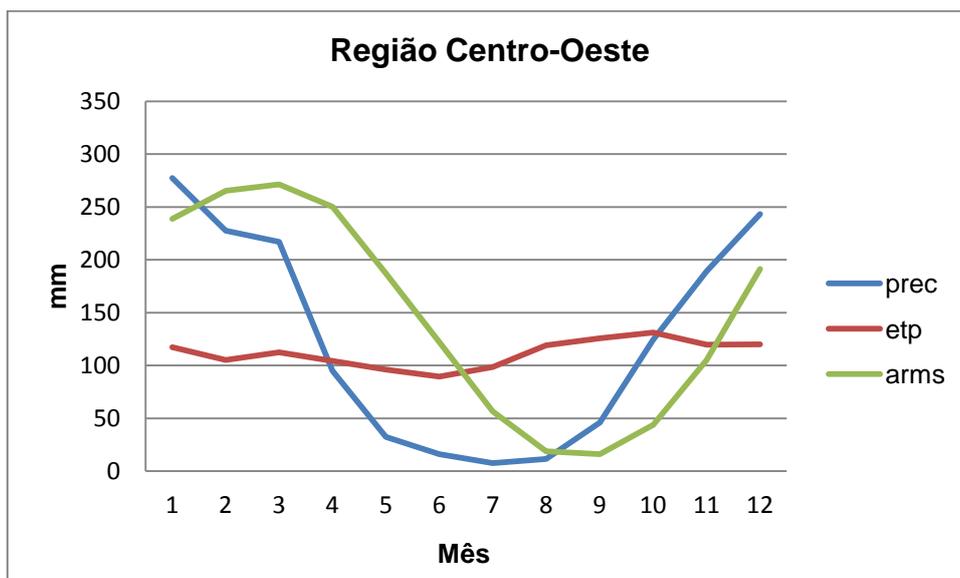


Figura 9- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Centro-Oeste.

Na região Centro-Oeste, conforme mostra a figura 9, os ciclos sazonais são mais marcados que na Amazônia. Altos conteúdos de água no solo seguem ao período chuvoso, apresentando máximos em Março. O incremento da evapotranspiração no final da época seca desloca os mínimos valores de umidade do solo para Setembro.

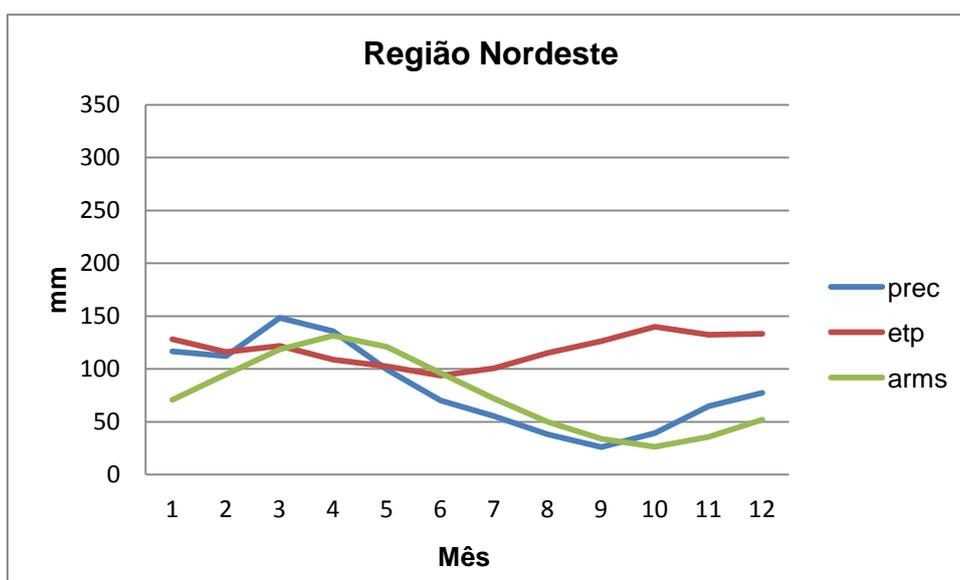


Figura 10- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Nordeste.

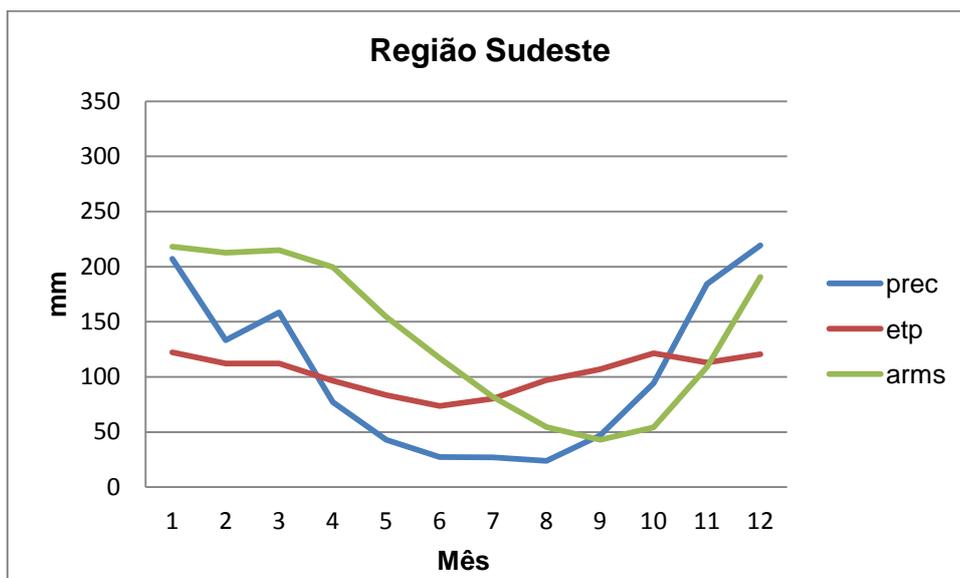


Figura 11- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sudeste.

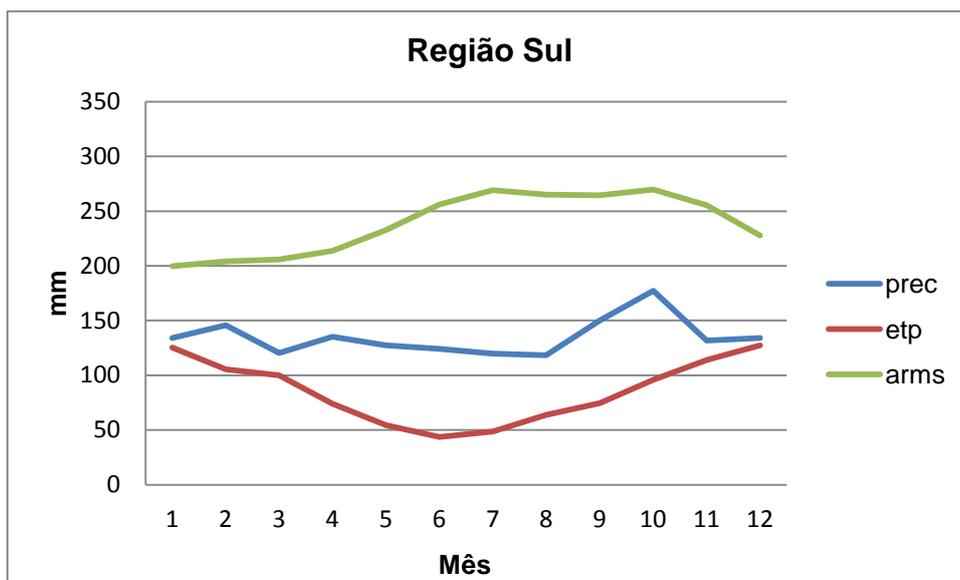


Figura 12- Média mensal em [mm/mês] no período 1997-2013 para a Região Sul.

Na região Nordeste conforme mostra a figura 10, o conteúdo de água no solo são baixos, devido ao clima seco da região e no mês de Outubro chegam ao mínimo, com o aumento da evapotranspiração. Na região Sudeste nota-se um ciclo sazonal na quantidade de água no solo, relacionada à variação da precipitação (figura 11). Na região Sul, o mês de Janeiro é composto por

mínimos conteúdos de água no solo, devido ao incremento da evapotranspiração no início do ano, que logo no mês de Junho tem um declínio, com isso, a quantidade de água no solo aumenta e chega ao máximo em Outubro. (figura 12).

5. Considerações Finais

A partir das climatologias pode-se concluir que o conteúdo de armazenamento de água no solo assemelha-se ao comportamento climático da precipitação, na maior parte das regiões. Através dos resultados constatou-se que a quantidade de água no solo é alta durante o ano todo na região Norte da Amazônia e baixa na região Nordeste, o qual está associado ao declínio da precipitação e aumento da evapotranspiração.

Analisando os resultados obtidos constata-se que algumas regiões terão que passar por algumas melhorias, averiguando que a estimativa da distribuição espacial da evaporação potencial não atingiram os resultados esperados. Com isso, haverá a necessidade de incorporação de informações meteorológicas, além das obtidas das plataformas do Instituto Nacional de Pesquisas Especiais.

6. Referências Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, D. R.; SMITH, M. (1998), Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations – Roma.
- Dirmeyer P A, Dolman AJ, Sato N (1999) The pilot phase of the global soil wetness project. Bull Amer Meteor Soc 80: 851–878.
- Dirmeyer PA, Zeng FJ, Ducharne A, Morrill JC, Koster RD (2000) The sensitivity of surface fluxes to soil water content in three land surface schemes. J Hydrometeorol 1: 121–134.

- Doyle, M., Tomasella, J., et al. (2013). "Experiments using new initial soil moisture conditions and soil map in the Eta model over La Plata Basin." *Meteorology and Atmospheric Physics*: 1-18.
- Entekhabi D, Rodriguez-Iturbe I, Castelli F (1996) Mutual interaction of soil moisture state and atmospheric processes. *J Hydrology* 184: 3-18.
- FAO (2007) Digital Soil Map of the World <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- Reen BP, Stauffer DR, Davis KJ, Desai AR (2006) A case study on the effects of heterogeneous soil moisture on mesoscale boundary-layer structure in the Southern Great Plains, U.S.A. Part II: mesoscale modelling. *Bound Layer Meteor* 120: 275-314.
- Rodriguez, D. A. ; Tomasella, J. . Uma melhora física no modelo de balanço hídrico operacional do CPTEC/INPE. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia - Fortaleza, 2004.
- Rossato, L., Alvalá, R.C. and Tomasella, J., 2002 . Climatologia da umidade do solo no Brasil- XII Congresso Brasileiro de Meteorología – Foz do Iguaçu.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., et al. (2010). "Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review." *Earth-Science Reviews* 99(3–4): 125-161.
- Tomasella J, Hodnett MG (2005) Pedotransfer Functions for tropical soils. In: Pachepsky Y.; Rawls, W.J.. (Org.). *Developments in Soil Science: Pedotransfer Functions in Hydrology*. Amsterdam: Elsevier 30: 415-435.
- Zhang, C., Dazlich, D.A. and Randall, D.A., 1999. Simulations of Soil moisture and surface water balance using Simple Biosphere Model 2. *Journal of the Meteorological Society of Japan* v. 77, No 1B, pp. 217-234.