



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

Uso de índices de seca para avaliação de estimativa de umidade do solo sobre a América do Sul.

Felipe Abrahão Mantovani

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves



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

Uso de índices de seca para avaliação de estimativa de umidade do solo sobre a América do Sul.

Felipe Abrahão Mantovani

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves

RESUMO

A extensão deste trabalho para o período de setembro de 2020 a agosto de 2021 tem como objetivo continuar os estudos sobre umidades de solo na América do Sul através de outros modelos de superfície terrestre e bases de dados de observação. Inicialmente, o trabalho realizado entre agosto de 2019 e setembro de 2020 foi de verificar os resultados de umidade de solo obtidos através do SALDAS (South American Land Data Assimilation System) utilizando o modelo de superfície terrestre Noah-MP (Noah- Multiparameterization) em quatro níveis de profundidade de solo, totalizando um perfil de 2 metros de profundidade para toda a região da América do Sul entre os anos de 2000 e 2018, no qual os resultados posteriormente foram comparados com os dados de precipitação registrados pelo CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) através do SPI (Standardized Precipitation Index). No trabalho realizado no ano de 2020 a 2021, foram analisados os dados de umidade de solo para a mesma região estudada anteriormente e pelo mesmo período (2000 a 2018), coletados dos sistemas CLSM (Catchment Land Surface Model v. Fortuna 2.5), GLDAS (Global Land Data Assimilation System), GPCC (Global Precipitation Climatology Center), ESA-CCI (European Space Agency-Climate Change Initiative) e IBIS (Integrated Biosphere Simulator), além do Noah -MP. No início do trabalho foi necessário analisar todos os meses compreendidos entre 2000 e 2018 para encontrar com maior precisão os períodos de seca mais intensos registrados nas regiões estudadas. As regiões e os anos utilizados foram: Amazônia em 2005, 2010 e 2015, Nordeste e Sul do Brasil em 2012 e Sudeste do Brasil em 2014. Dessa maneira, para o segundo ano do trabalho, as análises foram realizadas sobre estas regiões. Com esses resultados foi possível aprimorar e detalhar informações de grande importância para futuros estudos e previsões climáticas, esclarecendo os impactos de diversas secas no clima e no solo da região por períodos extraordinários aos impactados pelas secas, por conta das análises dos níveis mais profundos de solo, além de verificar a relação entre diferentes resultados obtidos por sistemas com características semelhantes porém que são utilizados para diferentes funções.

LISTA DE FIGURAS

- 2.1. Exemplo de resultados obtidos pelo SALDAS realizadas através de diferentes características climáticas.
- 2.2. Modelo esquemático representando o funcionamento do modelo de superfície terrestre Noah, considerando suas forçantes de entrada e saída
- 3.1.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.1.B. Resultado obtido pelo ESA-CCI referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.1.C. Resultado obtido pelo GLDAS referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.1.D. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2005 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.1.E. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2005 no nível de solo 19. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.1.F. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a América do Sul durante o mês de agosto de 2010 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.2.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2010 no nível de solo 3. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.2.B. Resultado obtido pelo GLDAS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2010 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.2.C. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2010 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.2.D. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2010 no nível de solo 10. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

- 3.2.E. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2010 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.3.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a América do Sul durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 6. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.3.B. Resultado obtido pelo GLDAS referente a América do Sul durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.3.C. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a região sudeste do Brasil durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 3. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.3.D. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a região sudeste do Brasil durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 8. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.3.E. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a região sudeste do Brasil durante o mês de dezembro de 2015 no nível de solo 4. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.4.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a região sudeste do Brasil durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 3. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.4.B. Resultado obtido pelo GLDAS referente a região sul do Brasil durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.4.C. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a região sul do Brasil durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.4.D. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a região sul do Brasil durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 10. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.4.E. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a região sul do Brasil durante o mês de outubro de 2012 no nível de solo 2. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.5.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.5.B. Resultado obtido pelo ESA-CCI referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

- 3.5.C. Resultado obtido pelo GLDAS referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.5.D. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.5.E. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 19. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.5.F. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a América do Sul durante o mês de março de 2012 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.A. Resultado obtido pelo GPCC referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.B. Resultado obtido pelo ESA-CCI referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.C. Resultado obtido pelo GLDAS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.D. Resultado obtido pelo SALDAS/CLSM referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.E. Resultado obtido pelo SALDAS/IBIS referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 19. Fonte: De Golcalves, L. (2020)
- 3.6.F. Resultado obtido pelo SALDAS/Noah-MP referente a América do Sul durante o mês de outubro de 2014 no nível de solo 1. Fonte: De Golcalves, L. (2020).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos.	14
2. DADOS E METODOLOGIA	14
2.1. SALDAS	15
2.1.1. Modelos de superfície terrestre:	16
2.1.1.1 Noah- Multiparameterization (Noah-MP)	16
2.1.1.2 Catchment Land Surface Model (CLSM)	17
2.1.1.3 Integrated Biosphere Simulator (IBIS)	17
2.1.2 Forçantes	17
2.2 Percentil de umidade do solo	18
2.3 Base de Dados de Referência	19
2.3.1 ESA-CCI	19
2.3.2 GPCC	19
2.3.3 GLDAS	20
3. RESULTADOS	20
3.1 Amazônia 2005	20
3.1.1 Nível Superficial:	20
3.1.2 Nível Intermediário:	21
3.1.3 Nível Profundo:	21
3.2 Amazônia 2010	23
3.2.1 Nível Superficial:	23
3.2.2 Nível Intermediário:	23
3.2.3 Nível Profundo:	24
3.3 Amazônia 2015	25
3.3.1 Nível Superficial:	25

3.3.2 Nível Intermediário:	26
3.3.3 Nível Profundo:	27
3.4 Região Nordeste 2012	28
3.4.1 Nível Superficial:	28
3.4.2 Nível Intermediário:	29
3.4.3 Nível profundo:	30
3.5 Região Sul 2012	31
3.5.1 Nível Superficial:	31
3.5.2 Nível Intermediário:	32
3.5.3 Nível Profundo:	33
3.6 Região Sudeste (Estado- São Paulo) 2014	35
3.6.1 Nível Superficial:	35
3.6.2 Nível Intermediário:	35
3.6.3 Nível Profundo:	36
4. CONCLUSÕES	37
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Desde antes da existência das civilizações o mundo sofre com o impacto de desastres naturais e fenômenos climáticos, como furacões, tsunamis, inundações, inversões térmicas e as secas. Contudo, com o desenvolvimento da humanidade e a criação de indústrias esses fenômenos se intensificam a cada ano de modo extremo.

A seca é o período de tempo em que uma área ou região experimenta precipitações abaixo do normal. A falta de precipitação adequada, seja chuva ou neve, pode causar redução da umidade do solo ou da água subterrânea, diminuição do fluxo dos rios, causando danos às colheitas e escassez geral de água. Devido a isso, seu impacto é tão significativo para o mundo, seja na economia, sociedade ou na natureza. Atualmente as secas é o segundo evento climático mais custoso depois dos furacões.

O estudo e análise deste fenômeno é realizado em todo o mundo, através de técnicas, métodos e sistemas diferentes, buscando obter os melhores resultados, tanto para entender porque e como alguns períodos de seca ocorreram em determinadas regiões, quanto para prever futuras secas e assim diminuir seus impactos na sociedade. Diversos artigos científicos escritos por diferentes pesquisadores buscam explicar, a partir de observações, os fatores responsáveis por ocasionar certas secas, além dos motivos que fizeram elas durarem, em alguns casos, semanas ou meses.

Contudo, as observações não são o único meio para se analisar uma seca, existem também dados de precipitação e dados de umidade de solo, gerados por diferentes empresas governamentais e não-governamentais utilizando diversos sistemas. Além disso, existem sistemas de assimilação de dados que são capazes de simular a umidade do solo em grandes territórios, como é o caso do South American Land Data Assimilation System (SALDAS) que é o sistema de assimilação de dados da América do Sul. Esses sistemas de assimilação permitem a interação de dados observacionais, seja de sensoriamento remoto ou medições in situ, com informações que são espacialmente e temporalmente completas que são fornecidas pelos modelos de superfície da terra com intuito de gerar um produto de US que apresenta campos mais realísticos desta variável. Estes dados, se analisados corretamente e comparados

entre si com os dados observados, podem aumentar a eficiência e qualidade das análises sobre secas em diversas regiões.

Desse modo, é necessário coletar os resultados de seca de diferentes sistemas de dados e analisá-los para chegar em uma conclusão a respeito de suas capacidades em fornecer resultados eficientes, para posteriormente descrever com maior precisão os eventos de seca já observados na América do Sul através de artigos científicos, principalmente quanto à intensidade, duração e extensão dessas secas.

1.1 Objetivo Geral

Melhorar a qualidade e eficiência da análise das secas registradas na América do Sul, em particular nas regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil no período dos últimos 20 anos. Tais secas foram analisadas e coletadas através de diversos papers e artigos científicos no projeto iniciado em 2019. Assim, através de comparações de diferentes resultados espera-se que seja possível identificar entre os modelos de superfície terrestre que compõem o SALDAS, quais são mais aptos para identificar as secas em três níveis de profundidade de solo.

1.2 Objetivos Específicos.

- Utilizar os eventos de secas analisados no projeto iniciado em 2019 retirados de diversos papers publicados por pesquisadores e meteorologistas a respeito dos fenômenos de seca intensa que foram registrados nas duas últimas décadas por toda a América do Sul.
- Utilizar os modelos de superfície Noah-MP, Integrated Biosphere Simulator (IBIS) e Catchment Land Surface Model (CLSM) para comparar os eventos de secas na América do Sul utilizando o SALDAS de Gonçalves et. al. (2006).

- Comparar os resultados dos modelos de superfície nos três níveis de profundidade com dados de referência utilizado que foram: o sistema de assimilação de dados global (Global Land Data Assimilation System-GLDAS), os dados de satélite do European Space Agency-Climate Change Initiative (ESA-CCI) e a precipitação obtida pelo Global Precipitation Climatology Center (GPCC).

2. DADOS E METODOLOGIA

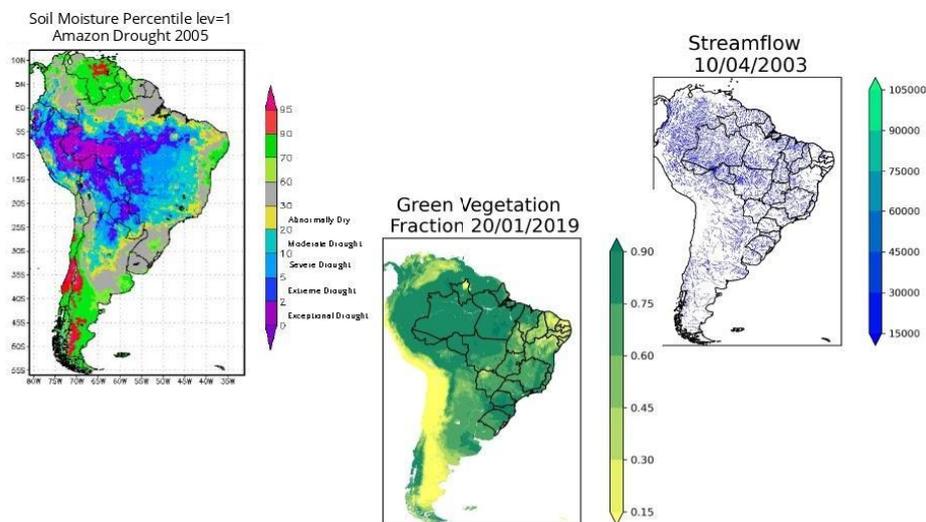
O trabalho se baseia na utilização do SALDAS em conjunto com os modelos de superfície CLSM, IBIS e Noah para gerar as informações de seca na América do Sul entre os anos de 2000 e 2019 a partir de simulações numéricas de umidade do solo em diferentes profundidades. Após a análise dos dados obtidos foi realizada uma comparação entre eles e os dados fornecidos pelo GPCC, ESA-CCI e GLDAS, sobre a mesma região e intervalo de tempo, com foco nas seis regiões analisadas no projeto iniciado em 2019 (Amazônia 2005, 2010 e 2015, Nordeste e Sul em 2012 e Sudeste em 2014).

2.1. SALDAS

O SALDAS (South America Land Data Assimilation System) é um sistema de assimilação de dados de superfície terrestre responsável por fornecer a resposta da superfície às condições ambientais como umidade e temperatura do solo, fluxos de calor, albedo, estado da vegetação, entre outras variáveis. sobre a América do Sul. Para o presente trabalho, o SALDAS foi utilizado para fornecer informações de umidade de solo sobre todo o continente por um período de vinte anos. O

funcionamento dessa ferramenta baseia-se na utilização de modelos de superfície terrestre responsável por simular os fluxos e estados de superfície de acordo com as forçantes climáticas e parâmetros de solo e vegetação, contribuindo para uma determinação mais realística do fenômeno da seca nas diferentes regiões do Brasil e América do Sul. A figura abaixo ilustra exemplos de saídas do SALDAS (umidade do solo e vazão de rios) assim como um dos vários parâmetros utilizados (fração de área verde).

Figura 2.1. Modelos de resultados SALDAS



Fonte: De Gonçalves, G. (2018)

2.1.1. Modelos de superfície terrestre:

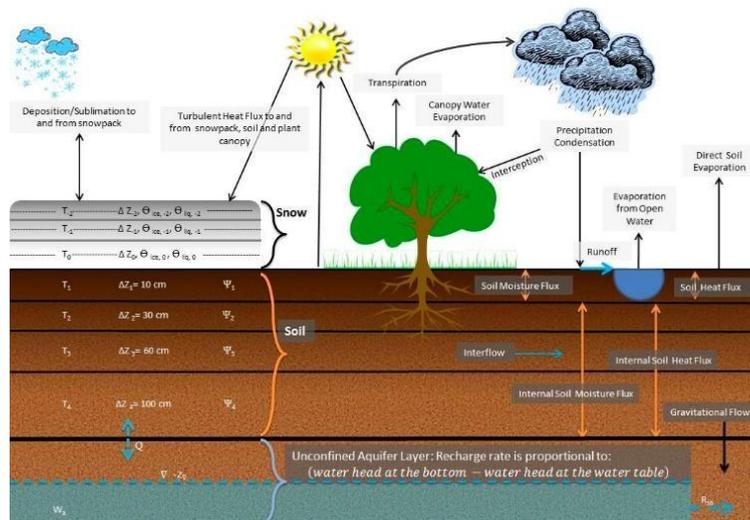
2.1.1.1 Noah- Multiparameterization (Noah-MP)

O modelo de superfície terrestre utilizado em conjunto com o SALDAS para fornecer os dados de umidade de solo para este estudo é o Noah-MP do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) versão 3.6.

Noah-MP é um modelo de superfície terrestre (LSM) que usa várias opções para processos-chave de interação terra-atmosfera (Niu et al., 2011). O Noah-MP contém

uma completa base de informações de vegetação separado definido por uma parte superior e inferior do dossel, raio da copa e folhas com dimensões, orientação, densidade e propriedades radiométricas prescritas. As informações incluem uma abordagem de transferência de radiação de dois fluxos, juntamente com os efeitos de sombreamento necessários para alcançar processos de transferência de água e energia de superfície adequados, incluindo processos de neve sob o dossel. Os processos incluídos no modelo Noah-MP são representados na figura abaixo incluindo as 4 diferentes profundidades de solo utilizadas neste estudo além das diferentes interações entre solo-vegetação-atmosfera.

Figura 2.2. Esquemático modelo Noah



2.1.1.2 Catchment Land Surface Model (CLSM)

De acordo com Rui et al. (2018), este modelo, assim como o Noah-MP, também possui um módulo de água subterrânea, porém aqui a profundidade do solo é de 1m. Ainda segundo os autores, o modelo não possui níveis verticais explícitos para a US, onde esta variável é determinada por um perfil de equilíbrio de US da superfície ao

lençol freático e também por outras duas variáveis adicionais que são capazes de descrever os desvios do perfil de equilíbrio da zona superficial (0-2 cm) e da e da zona radicular (0-100 cm). Além disso, o modelo conta com seis camadas para a temperatura do solo.

2.1.1.3 Integrated Biosphere Simulator (IBIS)

Este modelo consiste em um modelo de superfície que é capaz de representar os processos físicos que ocorrem na superfície continental. O modelo foi desenvolvido por Foley et al. (1996), Kucharik et al. (2000) e foi projetado para ser um modelo abrangente da biosfera terrestre; sendo capaz de representar uma ampla gama de processos, incluindo física da superfície terrestre, fisiologia do dossel, fenologia vegetal e dinâmica da vegetação e ciclo de carbono e nutrientes (KUCHARIK et al., 2000). Além disso, o modelo possui uma espessura total de 12 metros para melhor simular a profundidade do sistema de raiz das plantas tropicais, onde essa profundidade é dividida em 20 níveis.

2.1.2 Forçantes

Os dados de forçantes SALDAS são derivados da combinação de campos calculados do modelo e observações para produzir os campos atmosféricos distribuídos necessários para a modelagem da superfície da terra em todo o continente da América do Sul.

Desta forma são utilizados os campos gerados pelo sistema de assimilação de dados do modelo numérico operacional do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), centro de previsão da NOAA/EUA. As variáveis necessárias para rodar os modelos de superfície terrestre são: temperatura e umidade do ar em 2 metros,

vento em 10 metros, pressão à superfície, precipitação e radiação de onda longa e onda curta incidentes à superfície.

Devido à grande sensibilidade da biosfera às variáveis de precipitação e radiação de onda curta, o SALDAS utiliza como forçante, os produtos do CPTEC/INPE de precipitação (MERGE - Rozante et al., 2010) e radiação solar incidente (Wielicki, B. A., et al. 1996).

2.2 Percentil de umidade do solo

O percentil de umidade do solo tem sido utilizado por vários estudos para determinar os padrões espaciais e temporais de seca. É uma estatística importante pois permite identificar períodos com maior severidade ou não da seca em vários níveis de solo. Dependendo da profundidade do solo, os resultados podem representar uma resiliência maior ou menor do evento de seca, e seus impactos em atividades como agricultura, onde o conhecimento das condições de umidade de camadas mais profundas de solo são críticos para a tomada de decisão.

O percentil pode ser definido como a medida que divide a amostra em 100 partes seguindo a ordem crescente dos dados. Cada parte possui uma porcentagem aproximadamente igual dos dados. O p-ésimo percentil corresponde à frequência cumguêsulativa do número total da população N vezes p dividido por 100 ($N \times p/100$). Neste estudo, seguindo a literatura o estado de seca é considerado para percentiles de umidade do solo abaixo de 30 (Hao et al., 2016)

2.3 Base de Dados de Referência

2.3.1 ESA-CCI

O estudo utilizou a umidade do solo do programa ESA do Monitoramento Global de Variáveis Climáticas Essenciais (em inglês, Essential Climate Variables-ECV) mais conhecido como Iniciativas de Mudanças Climáticas (em inglês, Climate Change Initiative -CCI) (ESA, 2021b).

O produto de US do ESA-CCI consiste em três conjuntos de dados de US de superfície: o produto Ativo, o Passivo e outro produto denominado “combinado”, que consiste em um produto com base nos dois conjuntos de dados anteriores. Os arquivos de dados são fornecidos no formato NetCDF-4 e possuem resolução temporal diária e resolução espacial de 0,25° com cobertura global (PUG, 2021). O produto de umidade do solo do ESA CCI utiliza 4 sensores de micro-ondas ativos (azul) e 8 passivos (vermelho).

2.3.2 GPCC

O Centro Global de Climatologia de Precipitação (GPCC, Global Precipitation Climatology Center) iniciou suas operações no final de 1988 a pedido da Organização Meteorológica Mundial (OMM). A tarefa científica do GPCC é de desenvolver métodos objetivos para correção de dados, cálculo de precipitação média de área na rede, preenchimento de lacunas de dados e fusão de dados de diferentes fontes.

O GPCC desenvolveu sua capacidade única de montar e garantir a qualidade e analisar dados de pluviômetros coletados em todo o mundo. Seu banco de dados ultrapassou 200 anos em cobertura temporal e adquiriu dados de mais de 85.000 estações em todo o mundo. Todos os produtos GPCC, que consistem conjuntos de dados de precipitação em rede com base em medidores para a superfície global da terra, são disponíveis em resoluções espaciais de 1,0 ° x 1,0 ° e 2,5 ° x 2,5 ° e atualmente também

na versão 0,5 ° x 0,5°(apenas mensal) de latitude por longitude, produtos em tempo não real baseados na base de dados de estação pluviométrica mensal completa.

2.3.3 GLDAS

O GLDAS é um sistema de modelagem terrestre offline global de alta resolução, que incorpora observações terrestres e de satélite para produzir campos ideais da superfície terrestre, estados e fluxos em tempo quase real (RODELL et al., 2004). É integrado uma grande quantidade de dados baseados em observação e é executado globalmente em altas resoluções (2,5 graus a 1km) sendo capaz de produzir resultados quase que em tempo real.

Esse sistema de assimilação cobre uma extensão espacial de todo o globo terrestre que esteja ao norte de 60° em um período de 1948 até o presente com resolução temporal de 15 minutos com campos de saídas de 3 horas. As saídas desses campos são em NetCDF ou GDS.

3. RESULTADOS

3.1 Amazônia 2005

3.1.1 Nível Superficial:

O sistema ESA-CCI não foi capaz de detectar qualquer indício de seca nessa região.

Todos os outros modelos e sistemas apresentaram uma boa semelhança na captura de seca na região, porém com certa diferença na intensidade. Todos registraram pontos de seca excepcional na região Sudoeste da Amazônia, além disso em nenhum deles foi detectado qualquer mínimo ponto de seca no extremo norte do estado.

No entanto, a extensão da seca na Amazônia identificada pelo GPCC é consideravelmente pequena em relação aos demais sistemas e modelos, que apresentaram intensidade e extensão semelhantes (GLDAS, Noah-MP, CLSM e IBIS).

Além disso, de acordo com o GLDAS, IBIS e Noah-MP o mês mais intenso em nível superficial na Amazônia em 2005 foi Agosto, enquanto que para o CLSM e o GPCC o mês mais intenso foi Setembro.

3.1.2 Nível Intermediário:

No nível intermediário de profundidade de solo também foi verificada certa semelhança entre alguns sistemas e modelos. Como o sistema ESA-CCI possui somente um nível de profundidade ele não foi utilizado para fins de comparações.

Assim como no nível superficial, também não foi detectado qualquer sinal de seca no extremo norte da região, mais precisamente na região que faz divisa com o estado de Roraima, visto que através do GPCC, somente, foi identificada seca excepcional na região noroeste da Amazônia. Tanto o CLSM quanto o GPCC também identificaram seca excepcional na região leste do estado, o qual não foi visto pelo Noah-MP, IBIS ou GLDAS.

De modo geral, os modelos e sistemas apresentaram resultados próximos entre si, tanto de extensão quanto de intensidade, com exceção do IBIS que registrou uma seca consideravelmente inferior nos dois aspectos, em relação aos demais, porém com uma leve semelhança ao resultado do Noah-MP em relação à extensão, mas diferente intensidade.

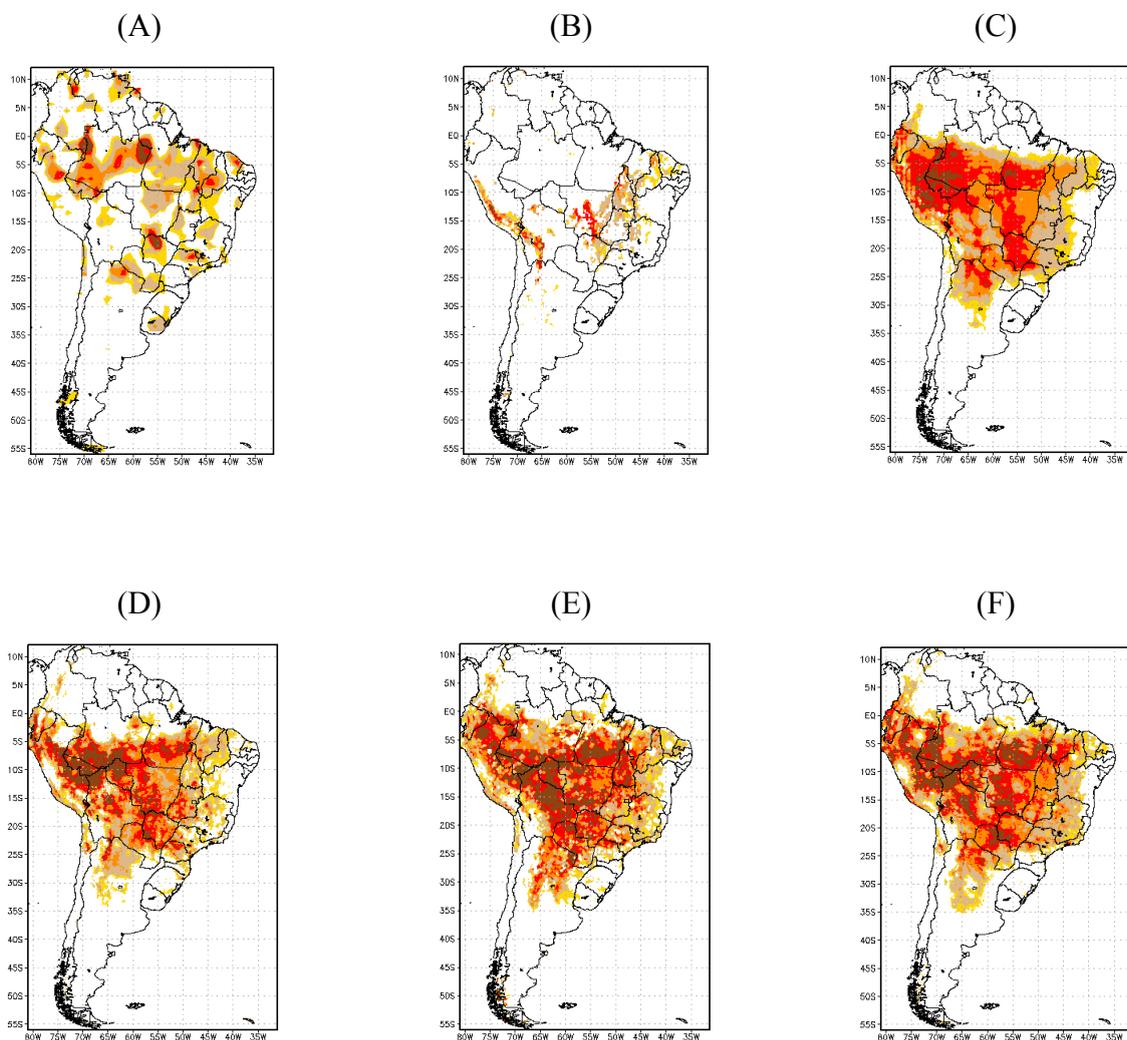
Além disso, de acordo com o GPCC e o Noah-MP o mês mais intenso foi agosto, enquanto que para o CLSM, GLDAS e IBIS foi em setembro.

3.1.3 Nível Profundo:

Assim como no nível intermediário, o sistema ESA-CCI também não foi utilizado nesta comparação.

Muito semelhante ao anterior, no nível profundo também não foi detectada seca no extremo norte do estado, próxima a divisa com Roraima.

Em relação a seca excepcional, tanto o CLSM, GLDAS, GPCC e Noah-MP tiveram registro no oeste do estado, sendo que o GPCC mostrou uma área maior com essa intensidade de seca, a qual cobre toda a região oeste próxima à fronteira brasileira. Já o resultado que mais se afastou da média foi novamente o IBIS, que mostrou uma seca menos intensa e com uma área menor em relação aos demais.



Figuras 3.1. (A) GPCC, (B) ESA-CCI, (C) GLDAS, (D) CLSM, (E) IBIS, (F) Noah-MP Resultados de agosto de 2005 nível superficial.

3.2 Amazônia 2010

3.2.1 Nível Superficial:

A seca de 2010 foi considerada mais grave que a registrada em 2005, principalmente em relação a sua extensão. De acordo com os resultados obtidos, todos os modelos e sistemas utilizados registraram seca por todo o estado da Amazônia, com exceção novamente do extremo norte, próximo ao estado de Roraima. Além disso, o ESA-CCI que, assim como no resultado de 2005, também não mostrou sinais de seca na região.

Através de uma simples análise visual entre todos os resultados é possível afirmar que todos são semelhantes, porém se diferenciam em algumas regiões em relação a intensidade. Enquanto o modelo de superfície terrestre Noah-MP mostrou seca excepcional por quase toda a região central e sul da Amazônia e seca extrema nas áreas restantes (sendo considerado o resultado que apresentou a seca mais severa) o GPCC registrou somente um foco de seca excepcional no centro do estado e seca moderada no restante da região (resultado menos intenso da seca). Já os outros sistemas apresentaram em seus resultados sinais de seca excepcional e extrema por todo o estado da Amazônia.

3.2.2 Nível Intermediário:

Neste nível o foco de seca mais intensa foi detectado na região noroeste da Amazônia, além de alguns pontos de intensidade na região central do estado. Para todos os meios de análise o mês que apresentou seca mais forte foi outubro, com exceção do GLDAS que registrou uma seca maior em agosto de 2010. Pode-se dizer que os resultados estão muito próximos entre si, apresentando tanto a extensão da seca quanto os pontos de maior intensidade semelhantes. Mesmo todos terem registrado uma semelhante extensão e localização da seca na região Amazônica, o ÍBIS, CPCC e GLDAS foram capazes de apresentar apenas alguns focos de seca extrema, enquanto o Noah-MP e o CLSM mostraram secas de nível excepcional na região noroeste e central do estado. Por fim de análise, o modelo de superfície Noah-MP foi o responsável por

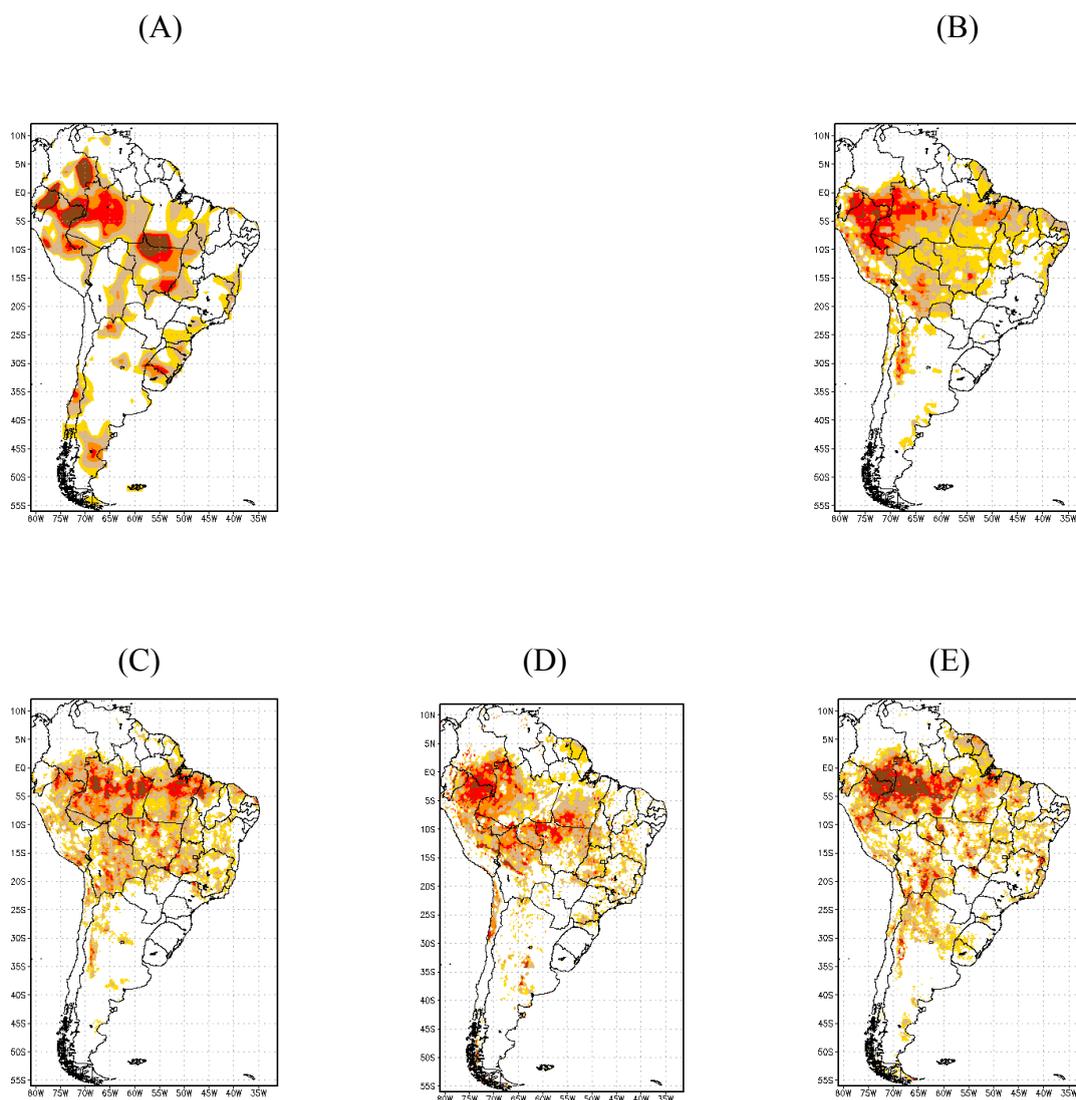
registrar a seca mais intensa neste nível de profundidade, em outubro de 2010, enquanto o IBIS registrou a menor intensidade, também em outubro de 2010.

3.2.3 Nível Profundo:

Os resultados analisados sobre a seca da Amazônia em 2010 neste nível de profundidade apresentaram uma considerável discrepância tanto na extensão quanto na intensidade da seca entre todos os sistemas e modelos, principalmente quando comparados aos dados de nível intermediário da mesma seca, que tiveram uma boa semelhança.

Em relação a extensão da seca pela região, pode-se dizer que o modelo Noah-MP e os sistemas CLSM e GLDAS apresentaram resultados próximos, indicando que a seca neste nível cobriu quase totalmente o estado da Amazônia, com exceção de uma pequena região no extremo norte, próximo ao estado de Roraima. Já o GPCC e o modelo IBIS mostram que algumas áreas do estado, além do extremo norte, também não tiveram mais registros de seca nesta profundidade, como no caso da região sudoeste, próximo à divisa com o estado do Acre.

Em relação a intensidade, todos os sistemas e modelos identificaram seca em nível excepcional e extremo pela região. GLDAS e IBIS mostraram seca excepcional somente no centro da Amazônia, enquanto que de acordo com o Noah-MP esse nível de seca além do centro atingiu a região oeste próxima a fronteira, e de acordo com o CLSM além destas, a seca excepcional também atingiu a região sul e leste, em áreas menores. Já o sistema GPCC apresentou um foco de seca extrema e excepcional somente ao norte do estado, sendo que no restante do estado foi identificada somente seca moderada e severa. Desse modo foi observado que o GPCC apresentou a seca mais fraca dentre todos, enquanto que o Noah-MP apresentou a seca mais forte.



Figuras 3.2. (A) GPCP, (B) GLDAS, (C) CLSM, (D) IBIS, (E) Noah-MP
Resultados de outubro de 2010 nível intermediário. ESA-CCI não disponível.

3.3 Amazônia 2015

3.3.1 Nível Superficial:

O sistema ESA-CCI, assim como nas secas anteriores da Amazônia, não foi capaz de detectar indícios de seca em 2015.

De acordo com diversos papers relacionados às secas e umidades de solo no Brasil e América do Sul, analisados no projeto anterior, a região amazônica sofreu em 2015 o maior e mais intenso período de seca dos últimos 60 anos. Essa afirmação pode

ser comprovada através da comparação que foi realizada entre os três maiores períodos de seca, 2005, 2010 e 2015 através de 5 diferentes sistemas e modelos de captura de precipitação e umidade de solo da região. A seca de 2015 que durou aproximadamente 5 meses, de agosto à dezembro, atingiu o estado da Amazônia em quase toda totalidade, com exceção de uma pequena área ao sul do estado, próxima ao estado do Acre. Além disso, foi detectada uma extensa área na região central, de seca excepcional, por todos os sistemas e modelos. Entretanto, ainda é possível verificar uma considerável discrepância entre alguns. Enquanto o CLSM, GLDAS e Noah-MP apresentaram resultados muito semelhantes, o IBIS registrou uma área de seca excepcional bem menor, enquanto que, de acordo com o sistema GCPP, a seca excepcional atingiu praticamente todo o estado, com exceção de alguns pontos na região sul da Amazônia. Para todos os sistemas e modelos utilizados, o mês mais severo da seca registrada foi em setembro de 2015.

3.3.2 Nível Intermediário:

Para esse nível, foi observado o pior mês de seca para a região Amazônica em outubro, de acordo com o CLSM, GCPP Noah-MP e GLDAS, e em dezembro para o IBIS.

Em relação ao nível superficial, observado anteriormente, pode-se dizer que houve uma grande redução na intensidade da seca, principalmente nas grandes áreas de seca excepcional, porém elas ainda existem e suas áreas de impacto são extremamente perigosas para a região.

Desta vez os sistemas CLSM e GLDAS identificaram uma área de seca excepcional maior que os demais, essa área, assim como no nível superficial, atingiu a região central da Amazônia e de acordo com o GLDAS se estendeu até o sul do estado. Não tão distante, o modelo Noah-MP e o sistema GPCC também apresentaram seca excepcional em outubro deste ano, cobrindo uma parte da região central e leste. Já o IBIS registrou um nível de seca abaixo da média registrada por todos, no mês de dezembro, considerado o mais intenso pelo modelo, e muito abaixo em outubro, mês em que todos os outros sistemas apresentaram a maior seca. Desse modo pode-se dizer que

o modelo IBIS apresentou a seca menos intensa e extensa da Amazônia nesse período e nível, enquanto o GPCC apresentou a mais intensa.

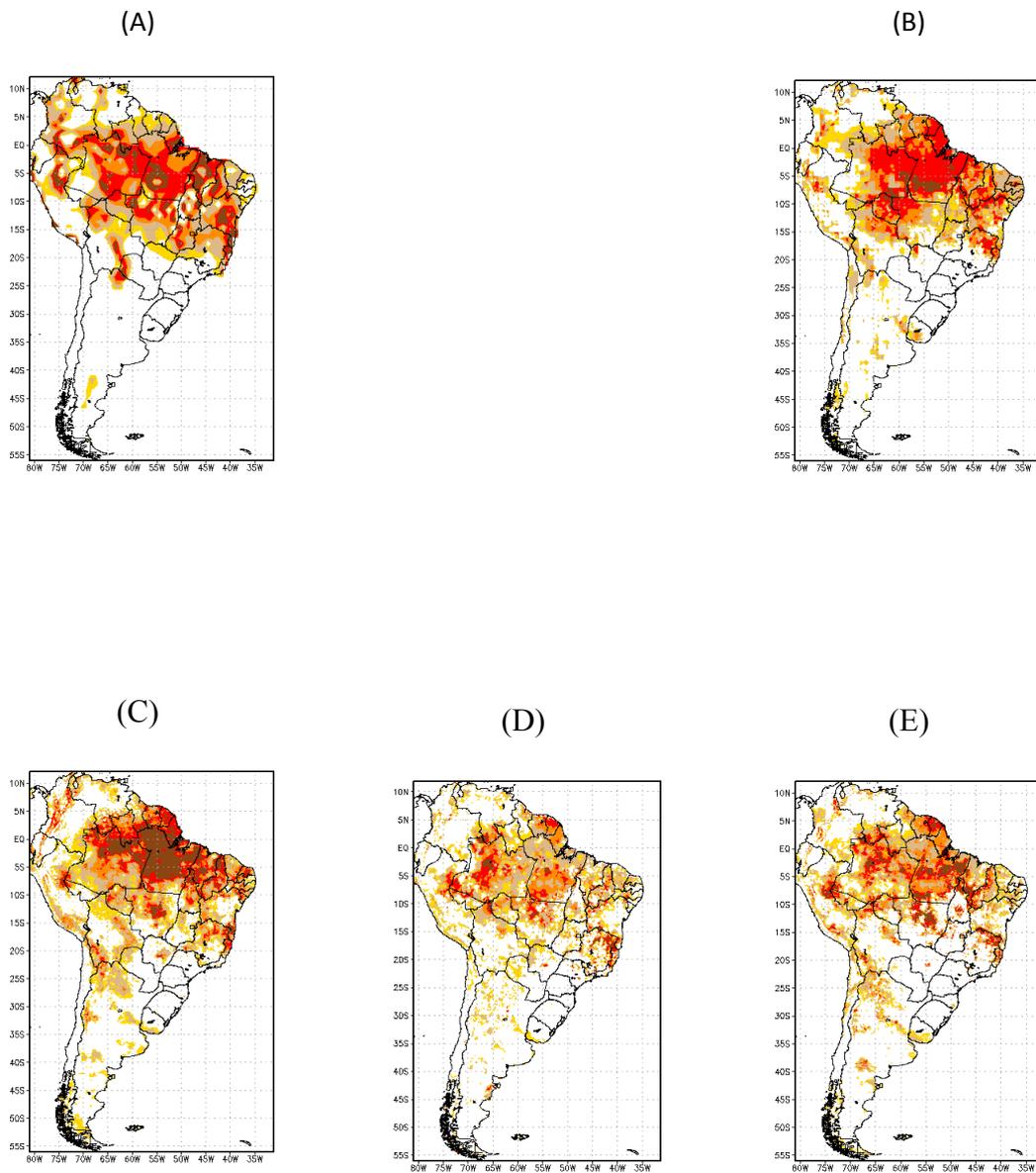
3.3.3 Nível Profundo:

De acordo com a análise realizada sobre os resultados de todos os sistemas e modelos pode-se afirmar que, mesmo no nível mais profundo, em algum momento, no intervalo de tempo de agosto a dezembro de 2015, todos identificaram seca excepcional na região. No entanto, neste caso houve maior divergência entre os sistemas para identificar o mês com a seca mais intensa. Enquanto os modelos Noah-MP, IBIS e o sistema GPCC registraram resultados de seca mais intensa em dezembro de 2015, o GLDAS identificou tal seca em novembro de 2015 e o sistema CLSM em outubro do mesmo ano.

Comparando a seca mais intensa registrada em dezembro por 3 resultados diferentes, pode-se dizer que os modelos IBIS e Noah-MP apresentaram dados semelhantes, com um foco de seca excepcional com a mesma extensão e na mesma região (oeste da região central da Amazônia), entretanto, o GLDAS apresentou uma extensão consideravelmente maior que as duas anteriores em dezembro, com focos de seca excepcional na região sul, leste e norte do estado, além disso, mostrou uma área coberta por seca extrema muito maior que ambos os modelos.

Já os dados coletados pelo GLDAS apontaram seca excepcional na região central e sul do estado, com extensão maior que aquelas registradas em dezembro e seca extrema em quase todo o restante da Amazônia, com exceção da região sudoeste onde foi identificada seca moderada.

Por fim, o sistema CLSM, responsável pela seca mais intensa registrada em nível profundo na Amazônia, apresentou em seu resultado uma grande mancha de seca excepcional na região central, se estendendo até a região leste do estado e ultrapassando para o estado do Pará.



Figuras 3.3. (A) GPCP, (B) GLDAS, (C) CLSM, (D) IBIS, (E) Noah-MP
 Resultados de dezembro de 2015 nível profundo. ESA-CCI não disponível.

3.4 Região Nordeste 2012

3.4.1 Nível Superficial:

De acordo com o trabalho realizado entre 2019 e 2020, foi registrada através de diversos papers e, posteriormente observada através de resultados do modelo de superfície terrestre Noah-MP e o modelo de umidade de solo SPI que a região Nordeste, de modo geral, passou por um período longo e intenso de seca entre setembro e dezembro de 2012. Desse modo foi realizada uma segunda análise a respeito dessa seca através de outros sistemas e modelos, exatamente como já realizado na região amazônica.

Foram identificados dois meses diferentes com maior intensidade de seca na região. Enquanto os dados do CLSM e GPCC apontaram outubro de 2012 como o pior mês para a região Nordeste, o ESA-CCI, GLDAS, Noah-MP e IBIS identificaram o mês de setembro.

Com relação às áreas de cobertura de seca extrema e excepcional pela região pode-se afirmar que todos apresentaram resultados semelhantes. De modo geral, todos mostram seca mais intensa no centro do estado da Bahia, extrema de acordo com o Noah-MP e IBIS, e excepcional de acordo com o restante. Além disso, também foi observado que todos os resultados apontaram seca intensa no Piauí, sendo que em outubro, de acordo com o CLSM e GPCC houve seca excepcional e extrema próximo a divisa com a Bahia, enquanto em setembro, de acordo com os quatro outros resultados, a maior intensidade foi no outro extremo do estado, próxima a divisa com o Maranhão.

Além disso, pode-se dizer que o modelo Noah-MP foi responsável por registrar a seca mais intensa na região neste nível de profundidade. Já o ESA-CCI mostrou em seu resultado a seca menos intensa na região.

3.4.2 Nível Intermediário:

Em relação ao mês mais intenso identificado neste nível pode-se dizer que todos os resultados foram compatíveis, isso porque para os cinco modelos e sistemas o mês de outubro foi observado como o mais intenso para a seca da região nordeste em 2012.

Já sobre a intensidade e cobertura, foram observadas algumas divergências. O CLSM registrou um grande foco de seca excepcional na região sul e norte da Bahia que se estendeu até o sul e centro do Piauí, além de alguns pontos de intensidade na região norte do Maranhão. O GLDAS mostrou uma seca excepcional na mesma região norte da Bahia porém menos extensa, além de uma seca extrema que cobriu todo o estado do Ceará. O GPCC apresentou um ponto de seca em nível mais intenso semelhante ao GLDAS, mesma extensão e área de cobertura, mas apresentou junto uma seca excepcional no sul da Bahia, diferentemente dos dois anteriores. Já o resultado do IBIS pode ser considerado o menos danoso para a região pois apresentou quase não apresentou indícios de seca excepcional ou extrema em todos os estados nordestinos.

Por fim o Noah-MP que apresentou uma grande área de seca intensa, excepcional e extrema, com extensão semelhante ao CLSM, porém em uma área diferente. O foco da seca observado por este modelo se deu na divisa entre os estados do Maranhão e Piauí, cobrindo totalmente a região de limite entre eles, além de cobrir grande parte dos dois estados.

Desse modo pode-se dizer que o modelo Noah-MP e o sistema CLSM apresentaram, com intensidades semelhantes, os resultados de seca mais intensos, enquanto que o modelo IBIS mostrou a seca mais amena.

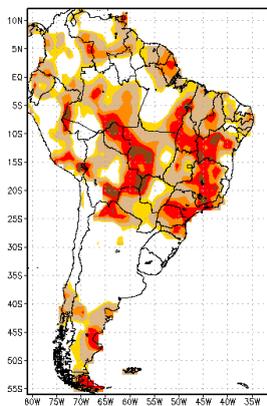
3.4.3 Nível profundo:

A precisão em relação ao mês mais intenso não foi boa em relação a essa região e nível de profundidade. Para o CLSM e Noah-MP, outubro de 2012 foi o mês mais intenso, enquanto que para o GLDAS e IBIS foi novembro do mesmo ano e para o GPCC, setembro foi o pior mês para a região.

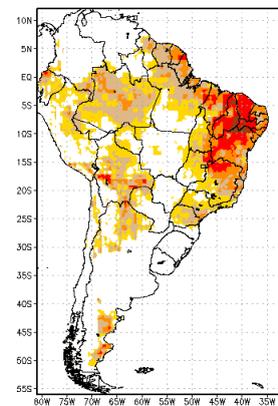
Além disso, a comparação em relação a intensidade da seca e extensão também apresentou grande discrepância. Para o GLDAS e IBIS, mesmo no mês de novembro, considerado o mais intenso, os resultados apontaram que a intensidade da seca de modo geral já estava em nível severo-moderado, próxima ao seu fim. Já para o CLSM e Noah-MP a seca ainda estava intensa em outubro, com focos excepcionais e extremos na região central da Bahia, principalmente. Por fim, o GPCC foi responsável por mostrar o resultado mais intenso para essa seca a nível profundo, apresentando seca extrema e severa por toda a região nordeste em setembro, sendo que uma grande mancha de seca excepcional foi observada em todos os nove estados que compõem esta região.

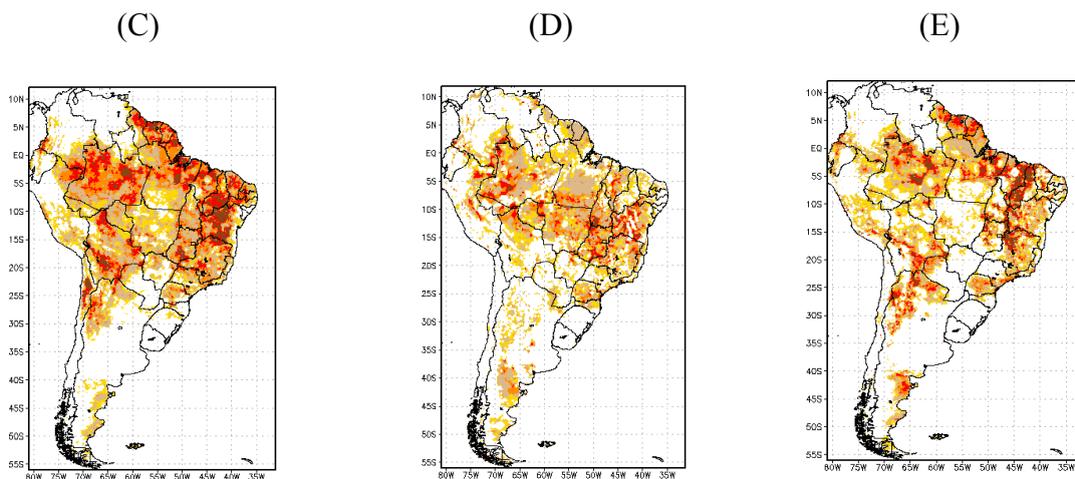
Desse modo pode-se dizer que o GPCC foi o responsável por registrar a pior e mais impactante seca para a região, enquanto que o IBIS e o GLDAS mostraram a seca menos intensa, muito semelhante entre si.

(A)



(B)





Figuras 3.4. (A) GPCC, (B) GLDAS, (C) CLSM, (D) IBIS, (E) Noah-MP
Resultados de outubro de 2012 nível intermediário. ESA-CCI não disponível.

3.5 Região Sul 2012

3.5.1 Nível Superficial:

Assim como foi identificado um fenômeno de seca intensa e prolongada na região Amazônica e Nordeste, através de papers e artigos científicos foi observado que relatos de diferentes autores apontaram um período conturbado de seca na região Sul do Brasil entre os anos de 2011 e 2012. Desse modo foi realizada, através do trabalho anterior, uma pesquisa e coleta de dados sobre essa seca. Utilizando papers em conjunto aos resultados de umidade de solo fornecidos pelo SALDAS e SPI foi confirmado um período intenso de seca na região, que se estendeu de novembro de 2011 até aproximadamente julho de 2012. A fim de aumentar a precisão dos dados e encontrar melhores métodos para fornecerem os dados necessários foram utilizados os mesmos sistemas e modelos das secas anteriores. Assim foi observada uma diferença entre eles, em relação ao mês que sofreu com a seca mais intensa. De acordo com o Noah-MP, IBIS e ESA-CCI, dezembro de 2011 foi o mês mais crítico para os sulistas, enquanto que, para o GLDAS, GPCC e CLSM foi março de 2012 o mais intenso.

A respeito do tamanho da seca e da região onde ela foi mais intensa, pode-se dizer que, os três primeiros (que registraram a maior intensidade em dezembro de 2011) apresentaram resultados muito semelhantes entre si. Para eles, houve um grande foco de seca excepcional no centro do Rio Grande do Sul, além de pequenos rastros de seca extrema no oeste do Paraná. Do mesmo modo, o GLDAS, GPCC e CLSM também apresentaram resultados semelhantes entre si, porém diferentes em relação aos três anteriores. Para eles, o momento de seca mais intensa ocorreu em março de 2012 e atingiu principalmente a região oeste de Santa Catarina e partes do Rio Grande do Sul e Paraná, próximo à fronteira com o Paraguai e a Argentina.

De modo geral é possível afirmar que o modelo Noah-MP captou a seca mais intensa na região, porém com resultado muito semelhante ao ESA-CCI e IBIS, enquanto que o GLDAS apresentou o resultado menos intenso, pois mesmo em março de 2012, pior mês para a região de acordo com o sistema, não houve indícios de seca excepcional, somente extrema.

3.5.2 Nível Intermediário:

Para este nível de profundidade foi observado que foram encontrados três meses diferentes considerados o pior para a região. De acordo com o Noah-MP e o GPCC, janeiro de 2012 foi o mês mais intenso, com seca excepcional no centro do Rio Grande do Sul e, para o Noah-MP exclusivamente, seca excepcional também no sul desse estado. Para o CLSM e GLDAS o pior mês foi março de 2012, porém a cobertura de seca e intensidade foi diferente entre ambas. Enquanto o primeiro identificou seca excepcional no oeste do Paraná, o segundo apresentou somente seca extrema, tanto no oeste do Paraná quanto no oeste e centro de Santa Catarina. Por último o modelo IBIS, que apresentou que em seus resultados a seca mais intensa ocorreu em abril de 2012, um mês à frente do CLSM e GLDAS. De acordo com ele, houve um foco de seca excepcional próximo a região central do Rio Grande do Sul e extrema em outras partes da região.

Desse modo, pode-se afirmar que o sistema CLSM apresentou a seca mais amena na região Sul para o nível intermediário, enquanto que o Noah-MP em seu

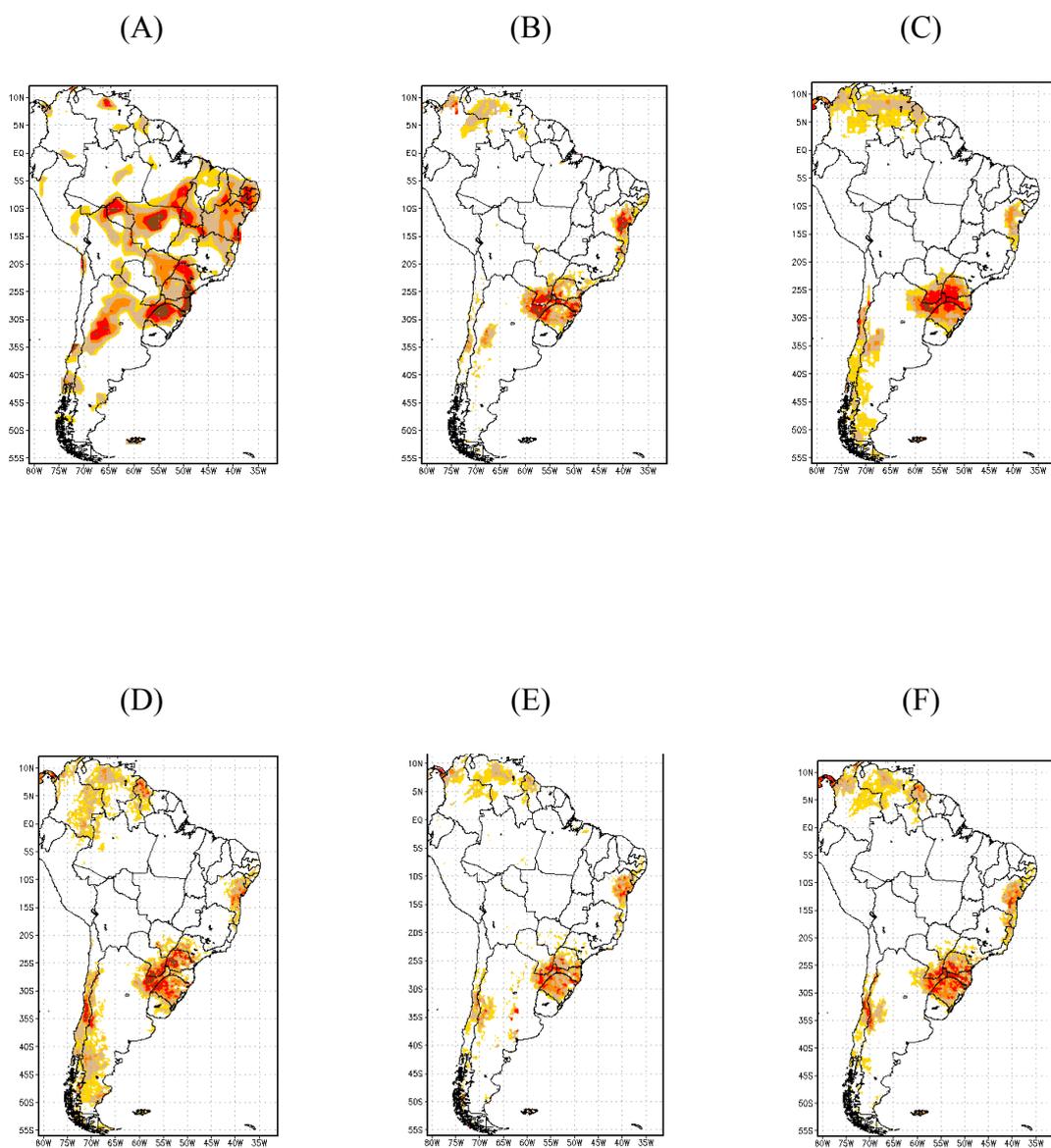
resultado referente a janeiro de 2012, mostrou a seca mais intensa e extensa da região, para este mesmo nível de profundidade, indicando uma seca excepcional que cobre quase todo o estado do Rio Grande do Sul além de grande parte do Uruguai.

3.5.3 Nível Profundo:

Assim como no nível intermediário, neste também houve uma ótima relação entre os resultados analisados. Todos os sistemas e modelos mostraram o auge desta seca em abril de 2012, com exceção do GPCC que também apresentou seca intensa em abril, porém seu ápice foi no mês seguinte, maio de 2012.

Entretanto, os focos de seca mais intensos da região Sul tiveram grande oscilação entre os resultados. De acordo com o CLSM houve seca excepcional no oeste do Rio Grande do Sul e oeste do Paraná e somente uma seca moderada no centro e oeste de Santa Catarina. Para o GLDAS, o estado de Santa Catarina foi o que mais sofreu, com seca um pequeno foco de seca excepcional na região oeste do estado e extrema por todo o restante, e assim como no CLSM, o Paraná também registrou seca intensa, mais precisamente no centro e sul do estado. Para o IBIS novamente o resultado foi o menos intenso, com poucos pontos de seca extrema, ainda assim foi registrada uma área de seca excepcional no norte do Rio do Grande do Sul. Já o modelo Noah-MP registrou seca extrema e severa na região sul por completa, porém apresentou seca excepcional em pequenas áreas. Por fim, o GPCC registrou em maio de 2012 um grande foco de seca excepcional, seguido de seca extrema ao redor, na região oeste do Rio Grande do Sul, enquanto os outros estados mostraram somente seca em nível moderado e severo.

O sistema GLDAS apresentou o resultado mais intenso, enquanto o IBIS novamente apresentou o resultado mais ameno.



Figuras 3.5. (A) GPCP, (B) ESA-CCI, (C) GLDAS, (D) CLSM, (E) IBIS, (F) Noah-MP
Resultados de março de 2012 nível superficial.

3.6 Região Sudeste (Estado- São Paulo) 2014

3.6.1 Nível Superficial:

Seguindo o mesmo caminho utilizado para identificar as secas anteriores, foi observado tanto através de papers e artigos científicos quanto em notícias de revistas,

jornais e sites renomados, que a região sudeste, mais precisamente o estado de São Paulo, passou por um momento conturbado em 2014. A seca que atingiu essa área ficou marcada na memória de todos os paulistas e de muitos outros brasileiros. Isso porque, além de ser mais recente que as estudadas anteriormente, essa seca foi responsável por levar o sistema Cantareira, principal reservatório de água do estado de São Paulo, a utilizar seu volume morto por conta do baixíssimo nível de água que atingiu.

Sobre os novos dados coletados referentes a essa seca, foi identificado dois meses diferentes com a seca mais intensa. Para o ESA-CCI, Noah-MP, IBIS e GLDAS ocorreu em agosto de 2014 a pior seca de São Paulo. Já para o CLSM e GPCC foi outubro o mês mais intenso no nível superficial.

A respeito da extensão e intensidade alguns resultados se aproximaram enquanto outros se distanciaram. Para o GLDAS, Noah-MP, IBIS e GPCC não houve registro de seca extrema ou excepcional neste nível, durante este período em que a seca foi identificada. Já para o ESA-CCI e o CLSM foi bem diferente. Os dados do primeiro mostraram um foco de seca excepcional cobrindo uma parte ao centro do estado de São Paulo, porém para o segundo o resultado foi ainda pior para a região. De acordo com o CLSM uma seca excepcional cobriu quase completamente o estado, restando uma pequena região à oeste, identificada com seca severa.

Assim pode-se afirmar que o resultado apresentado pelo CLSM mostrou uma seca muito mais intensa, enquanto que o GLDAS, Noah-MP e IBIS apresentaram, de maneira semelhante, uma seca de baixa intensidade.

3.6.2 Nível Intermediário:

Neste nível os resultados apresentaram grande semelhança com o nível superficial relatado anteriormente, porém a maior intensidade foi observada em meses diferentes. Para o GLDAS e Noah-MP o pior mês registrado foi julho de 2014, e assim como no anterior, também não foram encontrados indícios de seca extrema ou excepcional na região. Na sequência o IBIS, que assim como no superficial também não mostrou seca excepcional, mas registrou algumas áreas cobertas por seca extrema ao norte de São Paulo em setembro de 2014. Por fim, o GPCC e o CLSM novamente

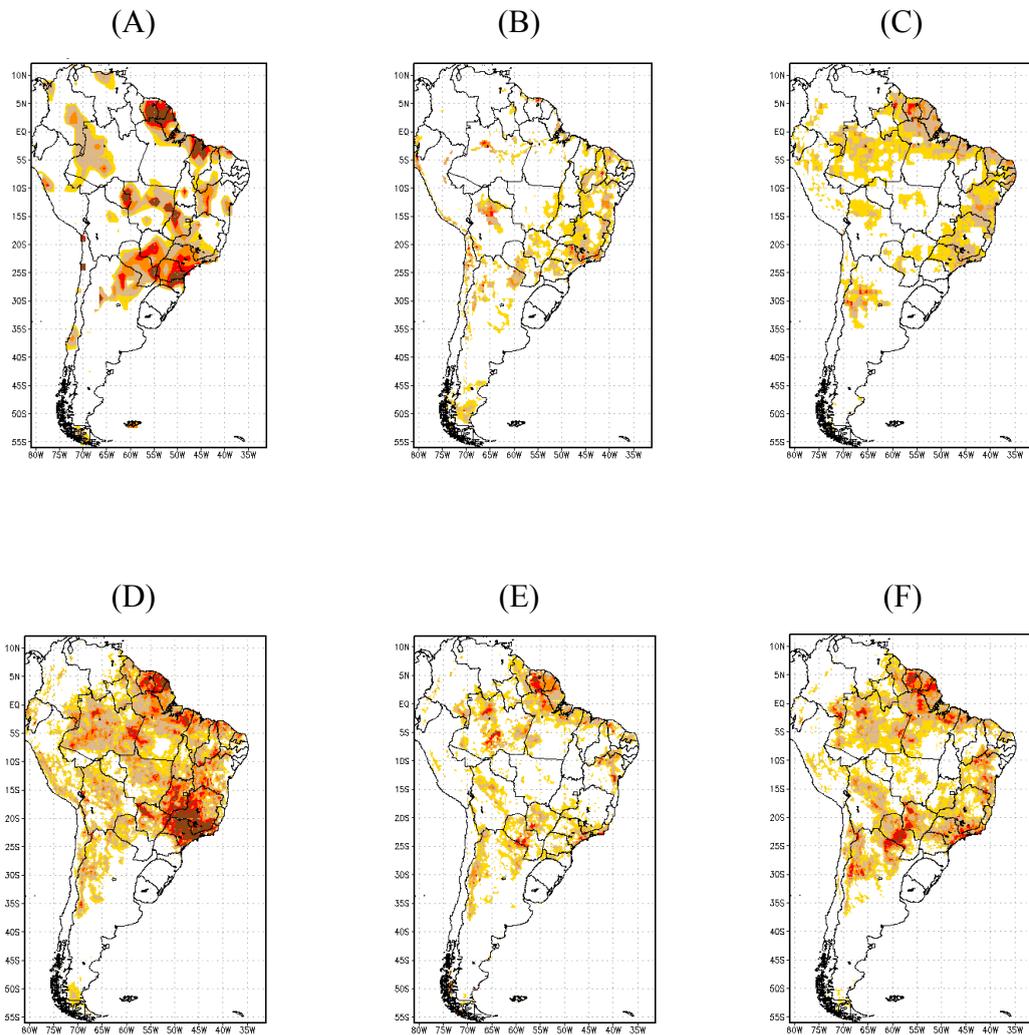
apontaram os resultados de seca mais intensa no estado, em outubro de 2014, e novamente o CLSM mostrou uma cobertura de seca excepcional muito grande, maior do que qualquer outro sistema, atingindo quase todo o estado.

Por isso, novamente o CLSM identificou a pior seca para a região enquanto o GLDAS, Noah-MP e IBIS registraram a menos intensa.

3.6.3 Nível Profundo:

Por fim, o nível mais profundo de solo mostrou um aumento na intensidade desta seca em relação aos outros níveis e mostrou compatibilidade entre todos os sistemas e modelos a respeito do mês mais intenso. Todos os cinco resultados coletados sobre a seca mais intensa ocorreram em outubro de 2014, o que foi um ponto positivo para a comparação entre eles. No entanto, a intensidade da seca e a cobertura da mesma foi diferente entre os resultados. O GPCC mostrou o resultado de seca mais ameno, com alguns pontos de seca severa e extrema no nordeste do estado de São Paulo, mas sem qualquer sinal de seca excepcional. Na sequência crescente de intensidade vem o IBIS, que identificou uma pequena região com seca excepcional e extrema, também no nordeste do estado. Em seguida o GLDAS, que apresentou resultado muito semelhante ao IBIS, porém com uma área coberta por seca extrema na região oeste do estado.

Aumentando a intensidade está o resultado apresentado pelo Noah-MP que apresentou uma área coberta por seca excepcional consideravelmente maior que as demais, localizada na região oeste de São Paulo. Por fim está o CLSM, que pela terceira vez registrou a seca mais intensa da região, e novamente com uma cobertura de seca excepcional muito maior do que a captada por qualquer outro modelo ou sistema.



Figuras 3.6. (A) GPCP, (B) ESA-CCI, (C) GLDAS, (D) CLSM, (E) IBIS, (F) Noah-MP
Resultados de outubro de 2014 nível superficial.

4. CONCLUSÕES

Neste projeto foram comparados os resultados de seca sobre a América do Sul fornecidos pelo SALDAS, através do Noah-MP, IBIS e CLSM, com os resultados de observações obtidas pelo GPCP, ESA-CCI e o GLDAS. Para melhorar a precisão e a comparação entre os dados foram utilizados os 6 períodos de seca definidos no projeto anterior, iniciado em 2019.

O produto ESA-CCI, do Monitoramento Global de Variáveis Climáticas Essenciais, se mostrou eficiente nas observações de seca em nível superficial na região Nordeste, Sul e Sudeste. No Entanto, em relação a seca na Amazônia nos três períodos analisados, ele encontrou dificuldades em fornecer dados precisos, isso ocorreu pois os resultados fornecidos pelo programa vem de observações no nível mais superficial de solo, então, por conta da vasta e densa floresta amazônica que se encontra na região e a grande umidade proveniente dos rios, o ESA-CCI, por ser um produto de satélite, possui baixa confiabilidade nesta região.

Utilizando como referência os resultados fornecidos pelo Centro Global de Climatologia de Precipitação (GPCC, Global Precipitation Climatology Center) pode-se afirmar que, para todas as regiões observada, tanto o Noah-MP, IBIS e CLSM, quanto o GLDAS se mostraram eficientes, mesmo que em alguns períodos tenham se divergido em relação ao mês de maior intensidade ou a extensão da seca. Porém, foi observado que o IBIS se destacou por apresentar com maior frequência secas consideravelmente menos intensas do que o restante dos resultados, como por exemplo, a seca na região Nordeste em 2012, no nível intermediário de profundidade de solo, como mostrado na figura 3.4.4.

Além disso, de modo geral o modelo de superfície CLSM (Catchment Land Surface Model) se mostrou mais eficaz pois, após a verificação dos resultados de todos os meses de seca nas seis regiões e nos três níveis de profundidade, este se aproximou dos dados do GPCC com maior frequência. Porém esta afirmação não desabilita a utilização dos outros modelos e sistemas, pelo contrário, os resultados são em sua maioria semelhantes entre si e podem ser considerados aptos para analisarem outras secas em diferentes.

Portanto, é possível afirmar que a comparação entre os resultados de seca foi realizada com sucesso e, mesmo o CLSM apresentando mais resultados próximos às observações do GPCC, pode-se afirmar que o conjunto de modelos do SALDAS (CLSM, IBIS e Noah) se mostraram eficazes, enquanto o ESA-CCI na região amazônica apresentou limitações devido ao fato de ser um produto de sensoriamento remoto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEBALLOS, J.C., M.J. BOTTINO, J.M. SOUZA. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *J. of Geophys. Research*, v. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

Darand, M., Karimi, S.Z., Evaluation of the accuracy of the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) data over Iran.

U. Schneider, M. Ziese, A. Becker, A. Meyer-Christoffer, P. Finger. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., Germany, May 2015.

Hosseini, A., Ghavidel, Y., Khorshiddoust, A.M., Farajzadeh, M., Spatio-temporal analysis of dry and wet periods in Iran by using Global Precipitation Climatology Center-Drought Index (GPCC-DI).

A. Becker, P. Finger, A. Meyer-Christoffer, B. Rudolf, K. Schamm, U. Schneider, and M. Ziese

Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany - *Earth Syst. Sci. Data*, 5, 71–99, 2013

Cunha, A.P., et al. Brazilian Experience on the Development of Drought Monitoring and Impact Assessment Systems.

Cunha, A.P., et al. (2019), Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019.

De Goncalves, L.G., Shuttleworth, W.J., Vila, D., Larroza, E., Bottino, M., Herdies, D., Aravéquia, J., de Mattos, J.G., Toll, D., Rodell, M., Houser, P. (2009). The South American Land Data Assimilation System (SALDAS) 5-Yr Retrospective Atmospheric Forcing Datasets. *Journal of Hydrometeorology*. 10. 10.1175/2009JHM1049.1.

European Space Agency. ESA. Overview. 2021. <https://esa-soilmoisture-cci.org/node/93>. Acessado em 24/03/2021

FOLEY, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; LEVIS, S.; POLLARD, D.; SITCH, S.; HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. *Global biogeochemical cycles*, Wiley Online Library, v. 10, n. 4, p. 603–628, 1996.

Getirana, A. (2016), Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. <https://journals.ametsoc.org/jhm/article/17/2/591/6004/Extreme-Water-Deficit-in-Brazil-Detected-from>

Globo Natureza, São Paulo, (2013) <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/01/nasa-mostra-que-seca-de-2005-afetou-area-da-amazonia-por-anos.html>

Hao, Z., F. Hao, Y. Xia, V. P. Singh, Y. Hong, X. Shen, and W. Ouyang, 2016: A Statistical Method for Categorical Drought Prediction Based on NLDAS-2. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 55, 1049–1061, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0200.1>.

KUCHARIK, C. J.; FOLEY, J. A.; DELIRE, C.; FISHER, V. A.; COE, M. T.; LENTERS, J. D.; YOUNG-MOLLING, C.; RAMANKUTTY, N.; NORMAN, J. M.; GOWER, S. T. Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: water balance, carbon balance, and vegetation structure. *Global Biogeochemical Cycles*, Wiley Online Library, v. 14, n. 3, p. 795–825, 2000.

Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Alvala, R.C.; Cunha, A.P; Brito, S.; Moraes, O.L. (2017), Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. <https://www.scielo.br/pdf/aabc/v90n2s1/0001-3765-aabc-201720170206.pdf>

Minetti, J.L.; Vargas, W.M.; Poblete, A.G.; Bobba, M.E., (2009), REGIONAL DROUGHT IN THE SOUTHERN OF SOUTH AMERICA - PHYSICAL ASPECTS. <https://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n1/v25n1a08.pdf>

Niu, G.-Y., et al. (2011), The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements, *J. Geophys. Res.*, 116, D12109, doi:10.1029/2010JD015139.

PUG, P. U. G. Esa climate change initiative plus soil moisture. 2021

RODELL, M.; HOUSER, P.; JAMBOR, U.; GOTTSCHALCK, J.; MITCHELL, K.; MENG, C.-J.; ARSENAULT, K.; COSGROVE, B.; RADAKOVICH, J.; BOSILOVICH, M. et al. The global land data assimilation system. Bulletin of the American Meteorological Society, American Meteorological Society, v. 85, n. 3, p. 381–394, 2004.

Rozante, J. R.; Moreira, D. S. ; Gonçalves., L. G. G. ; Vila, Daniel A. . Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. Weather and Forecasting, v. 25, p. 885-894, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

RUI, H.; BEAUDOING, H.; LOESER, C. Readme document for nasa gldas version 2 data products. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC): Greenbelt, MD, USA, 2018.

Saatchi, S.; Najafabady, S.; Malhi, Y.; Aragão, L.; Anderson, L.; Myneni, R.; Nemani, R., Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. <https://www.pnas.org/content/pnas/110/2/565.full.pdf>