



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 Abraão 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 2021 a agosto de 2022 tem como objetivo validar os resultados obtidos no período anterior, com um sistema de monitoramento de secas já estabelecido como referência. 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 2020 e setembro de 2021 foi de analisar 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 período anterior 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, neste terceiro ano de trabalho, as análises foram realizadas sobre estas regiões e comparações feitas com um sistema já estabelecido de monitoramento de secas Global do Laboratory of Climate Services and Climatology de Zaragoza, Espanha. Com estas comparações foi possível estabelecer um padrão de comparação e validação dos resultados com o objetivo de finalizar este trabalho demonstrando a sua validade científica, mas também o seu potencial como produto operacional para uso prático sobre a América do Sul.

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. Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

3.2. Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

3.3. Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

3.4. Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

3.5. Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

3.6. Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005. Fonte: De Golcalves, L. (2020)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivo Geral	8
1.2 Objetivos Específicos.	8
2. DADOS E METODOLOGIA	9
2.1. SALDAS	10
2.1.1. Modelos de superfície terrestre:	11
2.1.1.1 Noah- Multiparameterization (Noah-MP)	11
2.1.1.2 Catchment Land Surface Model (CLSM)	12
2.1.1.3 Integrated Biosphere Simulator (IBIS)	12
2.1.2 Forçantes	12
2.2 Percentil de umidade do solo	13
2.3 Base de Dados de Referência	14
2.3.1 ESA-CCI	14
2.3.2 GPCC	14
2.3.3 GLDAS	15
2.3.4 SPEI - Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index	15
3. RESULTADOS	18
3.1 Resultados preliminares	18
3.2 Comparações com monitoramento operacional	19
4. CONCLUSÕES	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

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 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 por que 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 fornecerem 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.

Adicionalmente, existem vários monitores de seca ao redor do planeta que utilizam como base os dados observados de precipitação, mas poucos, a exemplo do monitor de seca dos Estados Unidos e da Espanha que também utilizam informações oriundas de observações ou modelagem de umidade do solo e temperatura.

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. Após a verificação da consistência dos resultados utilizando referências de dados de modelagem (GLDAS) e dados de satélite (ESA-CCI) o objetivo da etapa final deste trabalho é comparar os resultados com um monitor de seca operacional e identificar a capacidade do SALDAS como ferramenta de contribuição de monitoramento de seca para a América do Sul.

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).
- Comparar os resultados dos índices de seca deste trabalho com os resultados de um sistema operacional de monitoramento de secas global desenvolvido em Zaragoza, Espanha.

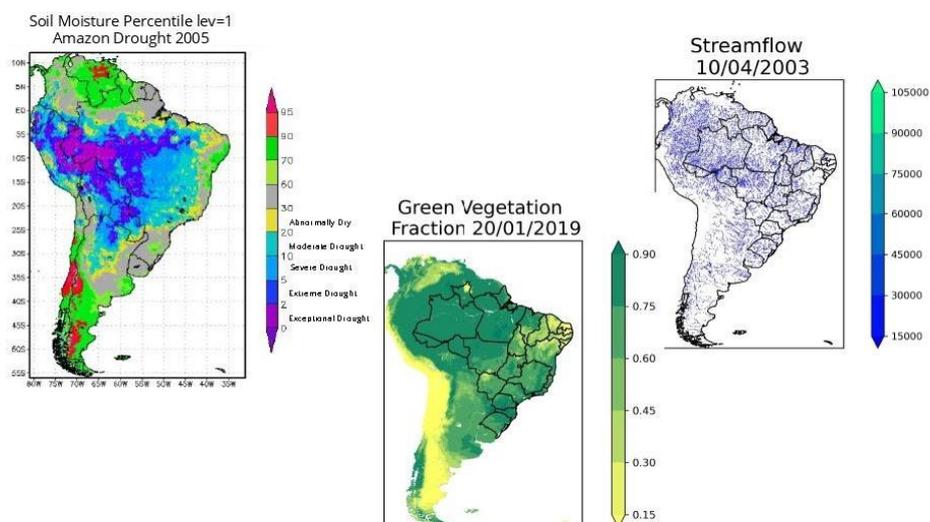
2. DADOS E METODOLOGIA

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). Após a comparação com os dados de referência, foram utilizados os dados do SPEI Global do Laboratory of Climate Services and Climatology de Zaragoza, Espanha.

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)

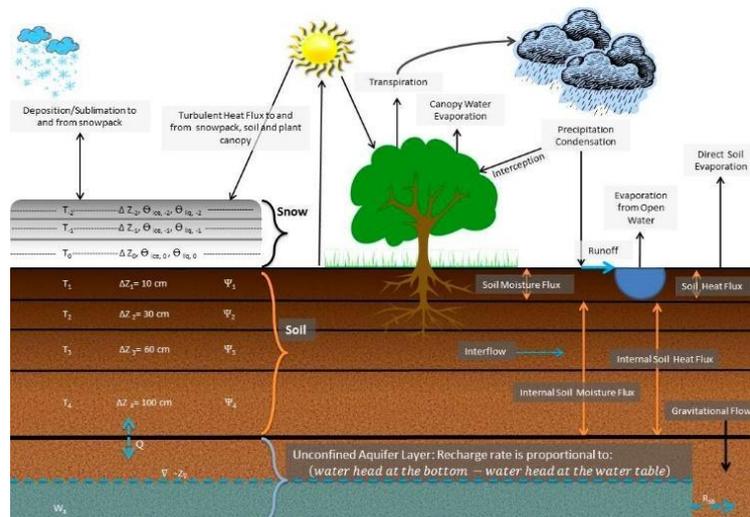
2.1.1. Modelos de superfície terrestre:

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 percentis 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 $0,25^\circ$ 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 disponível em resoluções espaciais de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ e atualmente também na versão $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (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.

2.3.4 SPEI - Standardised Precipitation-Evapotranspiration

Index

Os índices de seca baseados em precipitação, incluindo o SPI, dependem de duas suposições: i) a variabilidade da precipitação é muito maior do que a de outras variáveis, como temperatura e evapotranspiração potencial (PET), e ii) as outras variáveis são estacionárias (ou seja, têm sem tendência temporal). Nesse cenário a importância dessas outras variáveis é desprezível, e as secas são controladas pela variabilidade temporal da precipitação. No entanto, alguns autores alertavam contra a negligência sistemática da importância do efeito da temperatura nas condições de seca. Estudos empíricos mostraram que o aumento da temperatura afeta marcadamente a severidade das secas. (veja <https://spei.csic.es/home.html> para maiores detalhes)

O papel do estresse hídrico induzido pelo aquecimento é evidente em estudos recentes que analisaram os impactos da seca na produção primária líquida e na mortalidade das árvores (Williams et al., 2011; Martínez-Villalta et al., 2008; McGuire et al., 2010; Linares e Camarero, 2011). O forte papel das temperaturas na severidade da seca ficou evidente na devastadora onda de calor da Europa Central de 2003, na qual temperaturas extremamente altas aumentaram dramaticamente a evapotranspiração e

exacerbaram o estresse hídrico do verão (Rebetez et al., 2006), reduzindo drasticamente a Produção Primária Líquida Acima do Solo (ANPP - Ciais et al., 2005).

Portanto, a utilização de índices de seca que incluam dados de temperatura em sua formulação (como o PDSI) é preferível, principalmente para aplicações envolvendo cenários climáticos futuros. No entanto, o PDSI carece do caráter multiescalar essencial tanto para avaliar a seca em relação a diferentes sistemas hidrológicos, quanto para diferenciar entre diferentes tipos de seca. Portanto, um novo índice de seca (o Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizado; SPEI) foi formulado com base na precipitação e PET. O SPEI combina a sensibilidade do PDSI às mudanças na demanda de evaporação (causadas por flutuações e tendências de temperatura) com a simplicidade de cálculo e a natureza multitemporal do SPI.

O SPI não consegue identificar o papel do aumento da temperatura em condições futuras de seca e, independentemente dos cenários de aquecimento global, não consegue explicar a influência da variabilidade da temperatura e o papel das ondas de calor. O SPEI pode dar conta dos possíveis efeitos da variabilidade da temperatura e dos extremos de temperatura além do contexto do aquecimento global. Portanto, dadas as pequenas exigências de dados adicionais do SPEI em relação ao SPI, o uso do primeiro é preferível para a identificação, análise e monitoramento de secas em qualquer região climática do mundo.

O SPEI atende aos requisitos de um índice de seca, pois seu caráter multiescalar permite que seja utilizado por diferentes disciplinas científicas para detectar, monitorar e analisar secas. Assim como o sc-PDSI e o SPI, o SPEI pode medir a severidade da seca de acordo com sua intensidade e duração, e pode identificar o início e o fim dos episódios de seca. O SPEI permite a comparação da severidade da seca no tempo e no espaço, uma vez que pode ser calculado para uma ampla faixa de climas, assim como o SPI. Além disso, Keyantash e Dracup (2002) indicaram que os índices de seca devem ser estatisticamente robustos e facilmente calculados, e ter um procedimento de cálculo claro e compreensível. Todos esses requisitos são atendidos pelo SPEI. No entanto, uma vantagem crucial do SPEI sobre outros índices de seca amplamente utilizados que

consideram o efeito do PET na severidade da seca é que suas características multiescalares permitem a identificação de diferentes tipos de seca e impactos no contexto do aquecimento global.

2.3.5 Monitoramento Global Operacional

O SPEI Global Drought Monitor oferece informações quase em tempo real sobre as condições de seca em escala global, com resolução espacial de 1 grau e resolução de tempo mensal. São fornecidos prazos SPEI entre 1 e 48 meses. O período de calibração do SPEI é de janeiro de 1950 a dezembro de 2010. A data de início do conjunto de dados é 1955 para fornecer informações comuns entre as diferentes escalas de tempo do SPEI.

O conjunto de dados é atualizado durante os primeiros dias do mês seguinte com base nas fontes de dados climáticos mais confiáveis e atualizadas. Os dados de temperatura média são obtidos do conjunto de dados em grade NOAA NCEP CPC GHCN_CAMS. Os dados de somas mensais de precipitação são obtidos do 'primeiro palpite' Global Precipitation Climatology Center (GPCC). Os dados CPC com resolução original de 0,5°, são interpolados para a resolução de 1°.

Atualmente, o SPEI Global Drought Monitor é baseado na equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial, PET. Isso se deve à falta de fontes de dados em tempo real para calcular estimativas de PET mais robustas que exigem maiores requisitos de dados. A principal vantagem do SPEI Global Drought Monitor é, portanto, seu caráter quase em tempo real, uma característica mais adequada para fins de monitoramento de seca e alerta precoce. Para análise de longo prazo, no entanto, outros conjuntos de dados devem ser preferidos que dependem de métodos mais robustos de estimativa de PET. O uso do conjunto de dados SPEI base, que é baseado no modelo FAO-56 Penman-Monteith, é recomendado para estudos climatológicos de seca.

Os dados e informações são encontrados em <https://spei.csic.es/index.html> e os dados utilizados neste trabalho são especificamente do banco de dados do SPEI Global, SPEI base, que oferece informações robustas e de longa data sobre as condições de seca em escala global, com resolução espacial de 0,5 graus e resolução temporal mensal.

Possui caráter multi-escala, proporcionando prazos SPEI entre 1 e 48 meses. Atualmente abrange o período entre janeiro de 1901 e agosto de 2022.

Para as classes de seca do SPEI, temos 5 classes, a saber:

- 1- **Sem Seca** (nessa classe o valor do SPEI maior que -0,5),
- 2- **Leve** (o valor do SPEI está entre -0,5 e -1),
- 3 - **Moderado** (SPEI entre -1,5 e -1),
- 4- **Grave** (SPEI entre -2 e -1,5) e
- 5- **Extremo** (menor que -2).

3. RESULTADOS

3.1 Resultados preliminares

No período anterior foram analisados os resultados em uma comparação entre com 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). Estas comparações foram executadas para os níveis superficial, intermediário e superior.

Para esta primeira etapa foram as seguintes conclusões:

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 vêm 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.

3.2 Comparações com monitoramento operacional

A partir das informações e análises anteriores foram selecionados 3 eventos de seca sobre a América do Sul para demonstrar o desempenho do SALDAS em determinar padrões de seca em comparação com um monitoramento em tempo quase real e se é possível avaliar os resultados em questão de área, período e intensidade.

Conforme descrito na seção 2.3.5 o SPEI também é classificado de acordo com a severidade da seca sendo: Extrema (< -2.0); Grave ($-2 < -1.5$); Moderada ($-1.5 < -1.0$); Fraca ($-1.0 < -0.5$) e Sem Seca ($-0.5 <$). Semelhante ao índice SPI, o SPEI não possui uma relação direta com a umidade do solo, buscando inferir os impactos da seca em camadas mais profundas do mesmo, utilizando escalas de tempo integrando vários meses sendo: 1 mês equivalente à camada superficial, 3 meses equivalente à camada intermediária ou de raízes e 6 meses representando camadas mais profundas.

3.2.1 Seca na Amazônia - agosto de 2005 (nível 1)

Analisando e comparando os resultados referentes à América do Sul, com ênfase na região Amazônica, em agosto de 2005 no nível superficial de solo, entre o modelo SPEI (figura 3.1) e o sistema SALDAS (figura 3.2), foram observadas áreas de convergência entre eles. No resultado obtido pelo SPEI, quanto mais intenso é o tom de azul na região, maior a umidade registrada, enquanto esse nível é identificado pela cor branca no resultado do SALDAS. Assim pode-se observar semelhança entre os resultados na região norte da Amazônia. Além disso, ambos registraram seca moderada na região do estado.

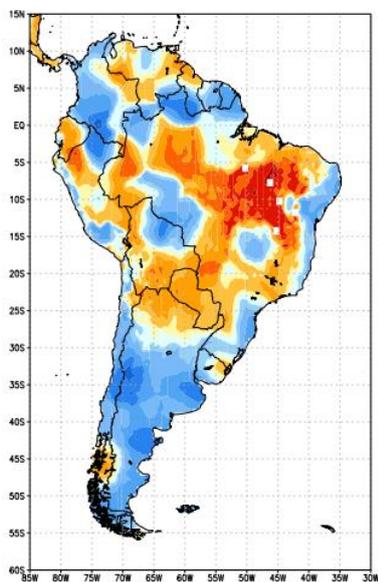


Figura 3.1

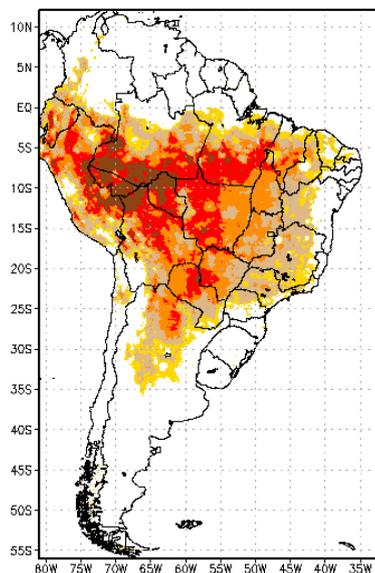


Figura 3.2

*Figura 3.1: Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005.

*Figura 3.2: Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005.

3.2.2 Seca na Amazônia - agosto de 2010 (nível 1)

Os resultados de agosto de 2010, utilizando novamente o SPEI (figura 3.3) e o SALDAS (figura 3.4) mostraram mais uma vez semelhanças no nível mais

superficial, em diversas regiões. Observando a Amazônia pode-se perceber que ambos apontaram seca mais intensa na região oeste do estado e pontos de umidade na região nordeste amazônica.

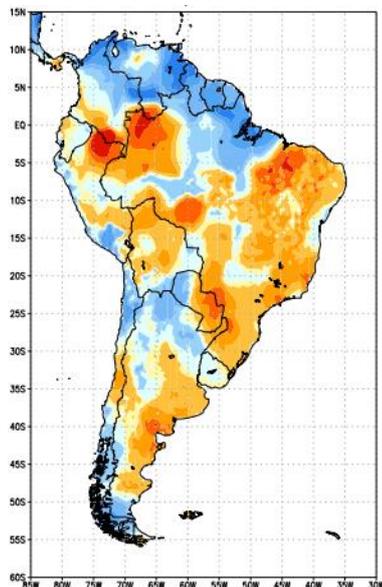


Figura 3.3

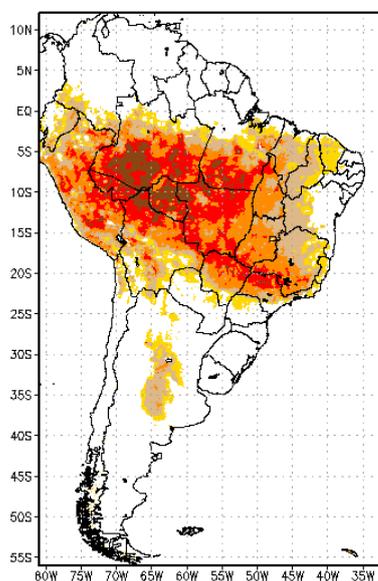


Figura 3.4

*Figura 3.3: Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005.

*Figura 3.4: Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005.

3.2.3 Seca em São Paulo - agosto de 2014 (nível Profundo)

Nesta última comparação foram utilizados os resultados de precipitação do SPEI (figura 3.5) e umidade de solo do SALDAS (figura 3.6) referentes à agosto de 2014 no nível mais profundo (nível 4 de profundidade do SALDAS e previsão de 6 meses de precipitação do SPEI), analisando a região Sudeste, com ênfase no estado de São Paulo. Diferentemente das análises anteriores, os resultados não mostraram grandes semelhanças. Enquanto no SPEI foi observada áreas de grande umidade (marcadas em azul), pelo SALDAS foi notado pontos de seca extrema em grande parte do estado, essa

divergência se justifica pelo fato de que, o produto de precipitação SPEI não é capaz de registrar secas em níveis profundos de solo, enquanto o SALDAS realiza essa tarefa de modo eficaz, pois neste caso é registrada a umidade do solo em diferentes níveis de profundidade. Essa justificativa é comprovada por diversas notícias e comprovações físicas de que o estado de São Paulo nessa época ainda sofria com sérios problemas de falta de água, levando o “Cantareira”, maior reservatório de água do estado atingir o nível morto.

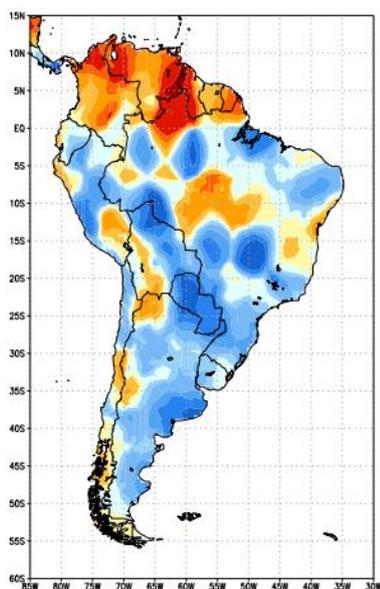


Figura 3.5

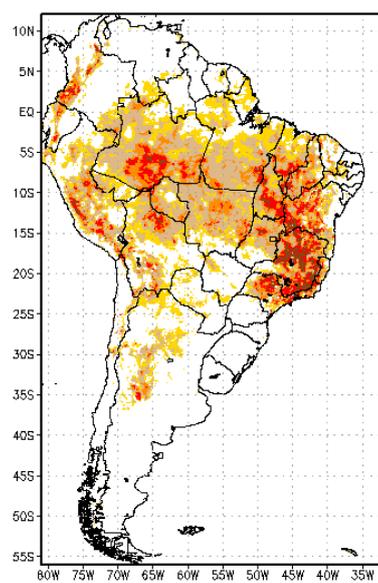


Figura 3.6

*Figura 3.5: Resultado obtido através do SPEI para precipitação na América do Sul em agosto de 2005.

*Figura 3.6: Resultado obtido através do SALDAS para umidade de solo na América do Sul em agosto de 2005.

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 GPCC, 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.

As análises iniciais permitiram 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.

O produto de índice de secas do SALDAS quando comparado com o sistema operacional de secas mostrou que os padrões principais assim com as áreas de predomínio são bem próximos. Foram mostradas neste trabalho as comparações com os anos de 2005, 2010 e 2014 quando houve eventos de seca significativos em particular na região Norte (Amazônia) e região Sudeste respectivamente. Verificou-se que em particular na região Sudeste houve uma diferença significativa entre o SALDAS e o operacional nos níveis de solo profundo. Conforme relatórios no período sobre os reservatórios da região do Cantareira verificou-se que a recuperação hídrica ocorreu somente após vários meses de precipitação. Isso devido à seca ter afetado as camadas mais profundas de solo, o que não foi verificado no SPEI (assim como em mapas de SPI mostrados nos estudos anteriores). Esta capacidade de identificar a situação hídrica em camadas mais profundas representa um valor significativo para a estimativa de índices do SALDAS como potencial contribuidor como informação complementar para monitores operacionais de secas sobre a América do Sul.

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>

Abramowitz, M. and I.A. Stegun, 1965: *Handbook of Mathematical Functions*. Dover Publications, New York.

Adams HD, et al. (2009) Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 7063-7066 (2009).

Ahmad, M.I., C.D. Sinclair, and A. Werrity, 1988: Log-logistic flood frequency analysis. *Journal of Hydrology* 98, 205-224.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. (1998): Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. FAO: Roma, Italia.

Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, Trigo RM, García-Herrera R (2011) The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* 332: 220-224.

Breshears DD, et al. (2005) Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 15144-15148.

Ciais Ph, et al. (2005) Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533.

- Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 113-121.
- Hayes, M., D.A. Wilhite, M. Svoboda, and O. Vanyarkho, 1999: *Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society* 80, 429-438.
- Hosking, J.R.M., (1986): The theory of probability weighted moments. Res. Rep. RC 12210 IBM Research Division, Yorktown Heights NY 10598.
- Hosking, J.R.M., (1990): L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of Royal Statistical Society B*, 52: 105-124.
- Keyantash, J. and J. Dracup., 2002: The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1167-1180.
- Linares JC, Camarero JJ (2011) From pattern to process: linking intrinsic water-use efficiency to drought-induced forest decline. *Global Change Biology* 18: 1000-1015.
- Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 29: 616-620.
- Martínez-Villalta J, López BC, Adell N, Badiella L, Ninyerola M (2008) Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions. *Global Change Biology* 14: 2868–2881.
- McGuire AD, et al. (2010) Vulnerability of white spruce tree growth in interior Alaska in response to climate variability: dendrochronological, demographic, and experimental perspectives. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 1197-1209.
- McKee, T.B.N., J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eight Conf. On Applied Climatology*. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 179-184.

Palmer, W.C., 1965: *Meteorological droughts*. U.S. Department of Commerce Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.

Rebetez M, et al. (2006) Heat and drought 2003 in Europe: A climate synthesis. *Annals of Forest Science* 63: 569-577.

Thornthwaite, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.

Wells, N., S. Goddard, and M.J. Hayes, 2004: A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate* 17, 2335-2351.

Williams AP, Xu Ch, McDowell NG (2011) Who is the new sheriff in town regulating boreal forest growth?. *Environmental Research letters* 6: doi: 10.1088/1748-9326/6/4/041004.