



Meteorologia e climatologia aplicadas a questões ambientais, econômicas e sociais no Nordeste do Brasil

Organizador
Cláudio Moisés Santos e Silva

Meteorologia e climatologia aplicadas a questões ambientais, econômicas e sociais no Nordeste do Brasil

Organizador
Cláudio Moisés Santos e Silva



UERN



Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Reitor

Pedro Fernandes Ribeiro Neto

Vice-Reitor

Fátima Raquel Rosado Morais

Diretora de Sistema Integrado de Bibliotecas

Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Chefe da Editora Universitária – EDUERN

Anairam de Medeiros e Silva

Conselho Editorial das Edições UERN

Emanoel Márcio Nunes

Isabela Pinheiro Cavalcante Lima

Diego Nathan do Nascimento Souza

Jean Henrique Costa

José Cezinaldo Rocha Bessa

José Elesbão de Almeida

Ellany Gurgel Cosme do Nascimento

Wellington Vieira Mendes

Capa

Gabriela Mabel Alves Vieira

Diagramação

Maria Helena de Medeiros

Revisão

Nayara Nicolay Braga

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Meteorologia e climatologia aplicadas a questões ambientais, econômicas e sociais no Nordeste do Brasil [recurso eletrônico] / Cláudio Moisés Santos e Silva (Organizador). – Mossoró, RN: EDUERN, 2020.
104p. : il., PDF

ISBN: 978-65-88660-16-4

1. Meteorologia. 2. Climatologia. 3. Nordeste - Brasil. I. Silva, Cláudio Moisés Santos e. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

UERN/BC

CDD 918.13

Bibliotecário: Petronio Pereira Diniz Junior CRB 15 / 782

Editora Filiada á:



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Meus amigos e minhas amigas,

O Programa de Divulgação e Popularização da Produção Científica, Tecnológica e de Inovação para o Desenvolvimento Social e Econômico do Rio Grande do Norte, pelo qual foi possível a edição de todas essas publicações digitais, faz parte de uma plêiade de ações que a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN), em parceria, nesse caso, com a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN), vem realizando a partir do nosso Governo.

Sempre é bom lembrar que o investimento em ciência auxilia e enriquece o desenvolvimento de qualquer Estado e de qualquer país. Sempre é bom lembrar ainda que inovação e pesquisa científica e tecnológica são, na realidade, bens públicos que têm apoio legal, uma vez que estão garantidos nos artigos 218 e 219 da nossa Constituição.

Por essa razão, desde que assumimos o Governo do Rio Grande do Norte, não medimos esforços para garantir o funcionamento da FAPERN. Para tanto, tomamos uma série de medidas que tornaram possível oferecer reais condições de trabalho. Inclusive, atendendo a uma necessidade real da instituição, viabilizamos e solicitamos servidores de diversos outros órgãos para compor a equipe técnica.

Uma vez composto o capital humano, chegara o momento também de pensar no capital de investimentos. Portanto, é a primeira vez que a FAPERN, desde sua criação, em 2003, tem, de fato, autonomia financeira. E isso está ocorrendo agora por meio da disponibilização de recursos do PR

OEDI, gerenciados pelo FUNDET, que garantem apoio ao desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação (CTI) em todo o território do Rio Grande do Norte.

Acreditando que o fortalecimento da pesquisa científica é totalmente perpassado pelo bom relacionamento com as Instituições de Ensino Superior

(IES), restabelecemos o diálogo com as quatro IES públicas do nosso Estado: UERN, UFRN, Ufersa e IFRN. Além disso, estimulamos que diversos órgãos do Governo fizessem e façam convênios com a FAPERN, de forma a favorecer o desenvolvimento social e econômico a partir da Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) no Rio Grande do Norte.

Por fim, esta publicação que chega até o leitor faz parte de uma série de medidas que se coadunam com o pensamento – e ações – de que os investimentos em educação, ciência e tecnologia são investimentos que geram frutos e constroem um presente, além, claro, de contribuir para alicerçar um futuro mais justo e mais inclusivo para todos e todas!

Boa leitura e bons aprendizados!



Fátima Bezerra

Governadora do Rio Grande do Norte

The image features a solid orange background. Overlaid on this background is a stylized, golden-brown tree branch that originates from the bottom right and extends upwards and to the left, with several smaller, thinner branches extending from the main trunk. The text is centered in the upper half of the image.

Parceria pelo Desenvolvimento Científico do RN

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) e a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN) sentem-se honradas pela parceria firmada em prol do desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação. A publicação deste livro eletrônico (*e-book*) é fruto de esforço conjunto das duas instituições, que em setembro de 2020 assinaram o Convênio 05/2020–FAPERN/FUERN, que, dentre seus objetivos, prevê a publicação de quase 200 e-books. Uma ação estratégica como fomento da divulgação científica e popularização da ciência.

Este convênio também contempla a tradução para outros idiomas de sites de Programas de Pós-Graduação (PPGs) das instituições de ensino superior do estado, apoio a periódicos científicos e outras ações para a divulgação, popularização e internacionalização do conhecimento científico produzido no Rio Grande do Norte. Ao final, a FAPERN terá investido R\$ 100.000,00 (cem mil reais) oriundos do Fundo Estadual de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDET), captados via Programa de Estímulo ao Desenvolvimento Industrial do Rio Grande do Norte (PROEDI), programa aprovado em dezembro de 2019 pela Assembleia Legislativa na forma da Lei 10.640, sancionada pela governadora, professora Fátima Bezerra.

Na publicação dos e-books, estudantes de cursos de graduação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) são responsáveis pelo planejamento visual e diagramação das obras. A seleção dos bolsistas ficou a cargo da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE/UERN).

No Edital 02/2020–FAPERN, os autores/organizadores puderam inscrever as obras resultantes de suas pesquisas de mestrado e doutorado defendidas junto aos PPGs de todas as Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTIs) do Rio Grande Norte, bem como coletâneas que derivem do trabalho dos grupos de pesquisa nelas sediados. Neste primeiro edital foram inscritas 63 obras, das quais 57 tiveram aprovação após a verificação

de atendimento aos critérios e envio aos pareceristas, processo editorial que fica a cargo das Edições UERN.

Com essa parceria, a FAPERN e a FUERN unem esforços para o desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte, acreditando na força da pesquisa científica, tecnológica e de inovação que emana das instituições potiguares, reforçando a compreensão de que o conhecimento é transformador da realidade social.

Agradecemos a cada autor(a) que dedica seu esforço na concretização das publicações e a cada leitor(a) que nelas tem a oportunidade de incrementar seu conhecimento, objetivo final do compartilhamento de estudos e pesquisas.



Gilton Sampaio de Souza
Diretor-Presidente da FAPERN



Fátima Raquel Rosado Morais
Presidente em exercício da FUERN

Autores



[Ane Caroline Cândido Firmo de Oliveira](#)

Graduando em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

[Bergson Guedes Bezerra](#)

Graduado em Física pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB, 2003) e Doutor em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, 2011). Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) no Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas (DCAC) e membro permanente do corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas (PPGCC).

[Caio Vasconcelos Pinheiro da Costa](#)

Graduado em Física pela UFRN. Mestre em Ciências Climáticas pela PPGCC/UFRN. Professor efetivo de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Santa Cruz.

[Claudio Moisés Santos e Silva](#)

Graduado em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA, 2002), Mestre em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL, 2005) e Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Ciências Espaciais (INPE, 2009). Professor Associado da PPGCC/DCAC/UFRN.

[Daniel F. da Silva](#)

Graduando em Meteorologia pela UFRN.

[Izabelly Cristina Mendes Tinoco](#)

Graduada em Estatística pela UFRN (2011). Mestra em Demografia pela UFRN (2014). Doutora em Ciências Climáticas pela PPGCC/UFRN.

[Keila Rêgo Mendes](#)

Graduada em Biologia pela UFPA (2006), mestre em Ciências Biológicas pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2009), doutora em Ecofisiologia Vegetal e Anatomia Ecológica pela Universidade Federal de Pernambuco e Estágio Pós doutoral em Ciências Climáticas pelo PPGCC/UFRN. É bióloga do ICMBio.

Lára de Melo Barbosa Andrade

É graduada em Estatística pela UFRN (1992), Mestrado (1999) e Doutorado (2001) em Demografia pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Titular do PPGCC/DCAC/UFRN.

Layara Campelo dos Reis: Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) em 2008. Especialista em Educação Profissional Integrada a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos pelo IFPI em 2010. Especialista em Gerenciamento de Recursos Ambientais pelo IFPI em 2011. Mestre em Ciências Climáticas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2015). Doutora em Ciências Climáticas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC/UFRN/Natal, RN) na área de MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA (2020). Professora efetiva e coordenadora do IFPI.

Marcos Samuel Matias Ribeiro

Graduado em Estatística pela UFRN (2013), mestrado em Ciências Climáticas PPGCC/UFRN (2016), doutorando em Ciências Climáticas pelo PPGCC/UFRN. Professor Assistente da Universidade Federal Rural da Amazônia UFRA).

Maria Helena Constantino Spyrides

Graduada em Estatística pela UFRN (1988), mestrado em Agronomia (Estatística e Experimentação Agrônômica) pela Universidade de São Paulo (1998) e doutorado em Saúde Pública pela Fundação Oswaldo Cruz (2004). Professora Adjunta do DCAC/PPGCC/UFRN.

Mariana Melissa de Lima Vieira

Graduando em Meteorologia pela UFRN.

Paula Andressa Alves de Araújo

Graduando em Meteorologia pela UFRN.

Paulo Sergio Lucio

Graduado em Matemática pela Universidade Federal do Espírito Santo (1987), Mestrado em Estatística pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e Doutorado em Geofísica

pelo "Institut de Physique du Globe de Paris" (1996). Professor Titular do DCAC/PPGCC/UFRN.

[Pollyanne Evangelista da Silva](#)

Graduada em Estatística pela UFRN (2011). Mestra em Demografia pela UFRN (2014) e doutora pelo PPGCC/UFRN (2018).

[Suany Campos da Silva](#)

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Pará (2009), mestrado em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará (2014) e doutorado em Ciências Climáticas pelo PPGCC/UFRN.

[Thiago Valentim Marques](#)

Licenciado em Matemática pela UFRN (2007), especialização em Ensino de Matemática pela Universidade Vale do Acaraú (2011), mestre em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT) pela Universidade Federal da Paraíba (2013), doutor em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professor efetivo de matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Natal - Zona Norte.

Apresentação

A meteorologia estuda as condições de tempo de uma região. A climatologia, as condições médias dos aspectos meteorológicos. O sistema climático engloba uma série de processos físicos, químicos, biofísicos etc, que caracterizam as condições gerais dos parâmetros ambientais de nosso planeta. O conhecimento em Meteorologia e Climatologia pode ser aplicado em diversas situações que contemplam desde atividades humanas (economia, turismo etc) até aos aspectos teóricos (análises de ondas atmosféricas, emissividade da atmosfera etc). Na presente obra, objetivamos apresentar uma série de aplicações do conhecimento em Meteorologia e Climatologia com focos em questões sócio-ambientais do Nordeste do Brasil. Os resultados são um recorte de uma série de projetos desenvolvidos no âmbito do Programa de Pós Graduação em Ciências Climáticas (PPGCC) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Começamos por mostrar como as variáveis ambientais influenciam na troca de calor e massa no bioma Caatinga, que domina a paisagem do semiárido Nordestino. Em seguida, mostramos como é possível determinar a emissividade atmosférica, pois essa é uma variável difícil de ser medida diretamente e serve como base para as análises de balanço energético a superfície. Seguimos mostrando a identificação do fenômeno de ilhas de calor urbano na cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte. A climatologia aplicada à produtividade de grãos é um dos temas que englobam as análises agrometeorológicas e são descritos em detalhes no quarto capítulo. Em seguida, uma análise sobre os eventos extremos que ocorrem no Nordeste do Brasil é realizada. Finalmente, apresentamos, através de uma análise abrangente, diversos aspectos da vulnerabilidade de populações e produção agrícola aos eventos climáticos extremos na região. Com essa coletânea de assuntos abordados pretendemos mostrar diferentes possibilidades de produtos técnico-científicos que podem vir das análises da Meteorologia e Climatologia.

Cláudio Moisés Santos e Silva
Organizador

Sumário

Capítulo 1 - Trocas de calor e massa (vapor de água e CO₂) sobre o Bioma Caatinga.....P. 15

Bergson Guedes Bezerra, Suany Campos, Thiago Valentim Marques, Keila Rego Mendes, Claudio Moisés Santos e Silva

Capítulo 2 - Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica sob Condições de Céu Claro na Região Seridó Potiguar.....P. 28

Ane Caroline Cândido Firmo de Oliveira, Mariana Melissa de Lima Vieira, Daniel F. da Silva, Keila Rego Mendes, Claudio Moisés Santos e Silva, Bergson Guedes Bezerra

Capítulo 3 - Algumas evidências de formação de ilhas de calor urbana na cidade de Natal, RN.....P. 36

Caio Vasconcelos Pinheiro da Costa, Bergson Guedes Bezerra, Paula Andressa Alves de Araújo, Cláudio Moisés Santos e Silva

Capítulo 4 - Semeadura da soja sob influência do El Niño e da fase positiva do Modo Meridional do Atlântico, na região MATOPIBA, Brasil.....P. 51

Layara Campelo dos Reis, Maria Helena Constantino Spyrides, Bergson Guedes Bezerra, Cláudio Moisés Santos e Silva

Capítulo 5 - Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste do Brasil...P. 64

Pollyanne Evangelista da Silva, Maria Helena Constantino Spyrides, Lára de Melo Barbosa Andrade, Marcos Samuel Matias Ribeiro, Cláudio Moisés Santos e Silva

Capítulo 6 - Perfis de vulnerabilidade do semiárido brasileiro à luz das características sociais, demográficas, dos padrões de precipitação e da produção agrícola.....P. 78

Izabelly Cristina Mendes Tinoco, Lara Melo Barbosa de Andrade, Paulo Sergio Lucio, Bergson Guedes Bezerra, Cláudio Moisés Santos e Silva

Capítulo 1

Trocas de calor e massa (vapor de água e CO₂) sobre o Bioma Caatinga

Bergson Guedes Bezerra; Suany Campos; Thiago Valentim Marques; Keila Rego Mendes; Claudio Moisés Santos e Silva

Resumo: Atualmente, o decisivo papel das florestas semiáridas na variabilidade interanual do ciclo global do carbono tem sido reconhecido, pois dominam as tendências e a variabilidade interanual dos sumidouros terrestres. O real potencial do Bioma Caatinga como sumidouro de CO₂ foi analisado no presente estudo utilizando dados de dois anos coletados em uma área remanescente de Caatinga preservado na ESEC-Seridó, utilizando a técnica *eddy covariance* (EC). Os resultados revelaram que a Caatinga se comportou como sumidouro de CO₂ mesmo durante os períodos de estresse hídrico. Os totais de GPP, Reco e NEE da Caatinga são consideravelmente inferiores aos valores observados em outras florestas de regiões mais úmidas. Por outro lado, a razão NEP/GPP observado na Caatinga é superior aos das demais floresta. Isso sugere que a Caatinga é mais eficiente no uso do carbono, confirmando hipóteses previamente sugeridas para florestas semiáridas.

Palavras chaves: Sumidouro de CO₂; *eddy covariance*; Balanço de energia.

1 Introdução

Durante 2,1 milhões de anos antes do início da Era Industrial (1750) a concentração do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico oscilava aproximadamente entre 180 ppm e 290 ppm (CIAIS et al., 2013). Entre 1750 e 2011 a queima de combustíveis fósseis liberou para a atmosfera 375 ± 30 PgC ($1 \text{ PgC} = 10^{15} \text{ gC}$), as atividades de mudança no uso da terra, principalmente o desmatamento, liberaram um adicional de 180 ± 80 PgC. (CIAIS et al., 2013). O aumento na concentração de CO₂ atmosférico é da ordem de 40% desde a Era Industrial e na atual trajetória de emissões, a concentração desse gás é projetada para exceder 900 ppm até 2100 (CIAIS et al., 2013, COLLINS et al., 2013).

Uma considerável parcela do CO₂ atmosférico é absorvida pela biosfera terrestre, sobretudo as florestas, denominados de sumidouros de CO₂. Através do processo de fotossíntese, as florestas sequestram grandes quantidade de CO₂ e o estocam na forma de biomassa. Esse montante de CO₂ capturado da atmosfera é conhecido como Produção Primária Bruta, o GPP (sigla do termo em inglês *Gross Primary Production*). Por outro lado, as florestas emitem grandes quantidade de CO₂ para a atmosfera através do processo de Respiração do Ecossistema (Reco), que é a soma da respiração autotrófica (Ra) e a respiração heterotrófica (Re). O saldo líquido do CO₂ a nível de ecossistema é utilizado como métrica para definir o status do ecossistema como fonte ($GPP < Reco$) ou sumidouro ($GPP > Reco$) de CO₂. Na América do Sul, a floresta Amazônica é um exemplo de sumidouro (média de 20 anos) terrestre de CO₂, embora se apresente por vezes como neutro ou fonte de CO₂ (ARAÚJO et al., 2010). Durante os últimos 10 anos os sumidouros terrestres sequestraram cerca 4 Pg C ano^{-1} , o que equivale a 33,7% do total de emissões antrópicas da atividade industrial e mudanças no uso da terra (KEENAN e WILLIAMS, 2018).

Diante desse contexto, o conhecimento da dinâmica do CO₂ a nível dos ecossistemas e dos processos relacionados é de fundamental importância. De todos os processos ecológicos relacionados ao sequestro de CO₂ pelos ecossistemas terrestres, o balanço de energia (BE) e o fluxo de vapor de água são os mais importantes, uma vez que os mesmos são característicos de cada ecossistema, visto que são influenciados pelo tipo de plantas que compõem o ecossistema, clima e as propriedades físicas do solo (BALDOCCHI et al., 2004; HAO et al., 2007). Assim, a dinâmica do CO₂ e o balanço de energia tem sido estudados em diferentes ecossistemas em todo o planeta (PAW U et al.,

2004; STOY et al., 2005; HOLLINGER et al., 2004; LUYSSAERT et al., 2007; Le QUÉRÉ et al., 2009; LÓPEZ-BALLESTEROS et al., 2016; TERAMOTO et al., 2019; KNEWLESS et al., 2020). No Brasil, esses estudos têm se concentrado predominantemente na Amazônia (da ROCHA et al., 2004; ARAÚJO et al., 2010; von RANDOW et al., 2013). No bioma Caatinga, típico do Semiárido Brasileiro, esses estudos são mais recentes (da SILVA et al., 2017; CAMPOS et al., 2019; BORGES et al., 2020; MARQUES et al., 2020). A Caatinga, assim como as demais florestas tropicais sazonalmente secas, STDF (sigla do termo em inglês *Seasonally Tropical Dry Forest*), que ocorrem nos Neotrópicos, durante muito tempo despertou pouco ou nenhum interesse da comunidade científica (DOMBROSKI et al., 2011; KOCH et al. (2017). Por essa razão, há muitas incertezas quanto a possíveis adaptações e resiliências desse Bioma frente às mudanças climáticas esperadas para as próximas décadas sobre o mesmo, conforme relatado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (CAMPOS et al., 2019). Assim, objetiva-se com esse trabalho analisar o comportamento sazonal do balanço de energia e das trocas de CO₂ sobre uma área do Bioma Caatinga preservado no Seridó do Rio Grande do Norte.

2. Procedimentos Experimentais

As trocas de energia e massa (vapor de água e CO₂) foram monitoradas durante dois anos consecutivos (2014 e 2015) sobre uma área remanescente de Caatinga preservada na Estação Ecológica do Seridó (ESEC-Seridó) (6°34'42"S, 37°15'05"O, 205 m acima de nível médio do mar), localizada no município de Serra Negra do Norte, estado do Rio Grande do Norte. O monitoramento constou das medidas sistemáticas da componentes da radiação de onda curtas (incidente e refletida) e de onda longa (emitida pela atmosfera e pela superfície), além das concentrações de CO₂ e vapor de água, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica.

A partir das medições anteriormente citadas foram determinados os componentes do balanço de energia (Equação 1) para cada meia-hora durante os dois anos estudados:

$$Rn = LE + H + G, \quad 1$$

em que Rn é o saldo de radiação ou energia líquida, LE é o fluxo de calor latente ou fluxo de vapor de água, H é o fluxo de calor sensível e G é o fluxo de calor no solo (todos em $W m^{-2}$).

O Rn representa a energia líquida a superfície, resultados dos ganhos e das perdas de radiativas (onda curta e onda longa) conforme a equação 2:

$$Rn = R_{S\downarrow} - R_{S\uparrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}, \quad 2$$

em que $R_{S\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, $R_{S\uparrow}$ é a radiação de onda curta refletida pela superfície, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa atmosférica e $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície. Todos os termos acima foram medidos por um saldo radiômetro modelo CNR4 (*Kipp & Zonen BV, Delft, The Netherlands*). Os valores de G foram medidos por duas placas de fluxo de calor no solo modelo HFP01SC (*Hukseflux Thermal Sensors, Delft, The Netherlands*).

Os demais termos da equação do balanço de energia, isto é, LE e H , foram obtidos pelo uso da técnica *eddy covariance* (EC), a partir das equações seguintes:

$$LE = \rho_{ar} \cdot L \cdot \overline{w'q'}, \quad 3$$

$$H = \rho_{ar} \cdot c_p \cdot \overline{w'T'}, \quad 4$$

em que ρ_{ar} é a densidade média do ar, L é o calor latente de vaporização da água, c_p é o calor específico do ar a pressão constante, $\overline{w'q'}$ é a covariância' entre os respectivos desvios em torno da média da velocidade vertical do vento (w') e da umidade específica (q') e $\overline{w'T'}$ é a covariância entre os respectivos desvios em torno da média da velocidade vertical do vento (w') e da temperatura do ar (T'). Os valores de w foram medidos utilizando um anemômetro sônico tridimensional modelo CSAT3 (*Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA*), enquanto a umidade específica foi medida por um analisador de gases modelo CO_2/H_2O *Open-Path Gas Analyzer EC150* (*Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA*). Os valores de T , por outro lado, foram medidos por uma sonda modelo HMP155A (*Vaisala Corporation, Helsinki, Finland*). Os valores de w , T e q foram medidos numa frequência de 10 Hz, enquanto os valores de w' , T' e q' foram obtidos para cada meia-hora. Os cálculos de H e LE envolvem uma série procedimentos, desde análise e controle dos dados, filtragem de dados que apresentam inconsistências físicas e preenchimento das lacunas oriundas da filtragem. Os detalhes desses procedimentos podem ser encontrados detalhadamente descritos em Campos et al. (2019), Marques et al. (2020) e Mendes et al. (2020).

Além dos componentes do balanço de radiação (Equação 1) também foram estimados os componentes do balanço de CO_2 (Equação seguinte) na escala do ecossistema:

$$NEE = GPP - Reco, \quad 5$$

em que *NEE* (*Net Ecosystem Exchange*) é o saldo líquido de CO₂ fixado pelo ecossistema, *GPP* (*Gross Primary Production*) é a produção primária bruta ou a quantidade total de CO₂ removido da atmosfera pela fotossíntese e *Reco* é a quantidade de CO₂ perdido pelo ecossistema para a atmosfera por respiração (todos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). *NEE* é a soma do fluxo de CO₂ entre a ecossistema e a atmosfera, F_{CO_2} , e a CO₂ armazenado abaixo do sensor, *Sc*, para cada meia-hora (MENDES et al., 2020):

$$NEE = F_{CO_2} + Sc, \quad 6$$

F_{CO_2} foi estimado com base na técnica EC (Equação seguinte):

$$F_{CO_2} = \rho_{ar} \cdot \overline{w'c'}, \quad 7$$

em que $\overline{w'c'}$ é a covariância entre os respectivos desvios em torno da média da velocidade vertical do vento e da concentração de CO₂. A concentração de CO₂, *c*, foram medidos também pelo analisador de gases modelo *CO₂/H₂O Open-Path Gas Analyzer EC150* (*Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA*). As medições de *c* foram tomadas numa frequência de 10 Hz e os procedimentos de cálculo dos valores de cada meia-hora de F_{CO_2} são os mesmos adotados no cálculo de *H* e *LE*, anteriormente descritos. Os valores de *Sc* foram calculados pela equação seguinte

$$Sc = \frac{\Delta C_{CO_2} \cdot z}{(R \cdot T_{ar} / P_{atm}) \cdot \Delta t} \quad 8$$

em que ΔC_{CO_2} é a variação da concentração de CO₂, *z* é altura do sistema EC acima do solo, *R* é constante universal do gases, T_{ar} é a temperatura do ar, P_{atm} é a pressão atmosférica e Δt é o intervalo de tempo de meia-hora em s. A P_{atm} foi medida por um barômetro modelo PTB110 (*Vaisala Corporation, Helsinki, Finland*).

Os demais componentes do balanço de CO₂ foram calculados segundo as considerações e equações seguintes:

$$NEE = Reco, \text{ para o período noturno} \quad 9$$

$$NEE = Reco - GPP, \text{ para o período diurno} \quad 10$$

O *GPP*, por sua vez, foi calculado pela equação seguinte (LLOYD e TAYLOR, 1994):

$$GPP = Reco.ref \cdot \exp \left[E_0 \cdot \left(\frac{1}{T_{ref} - T_0} - \frac{1}{T_{ar} - T_0} \right) \right] \quad 11$$

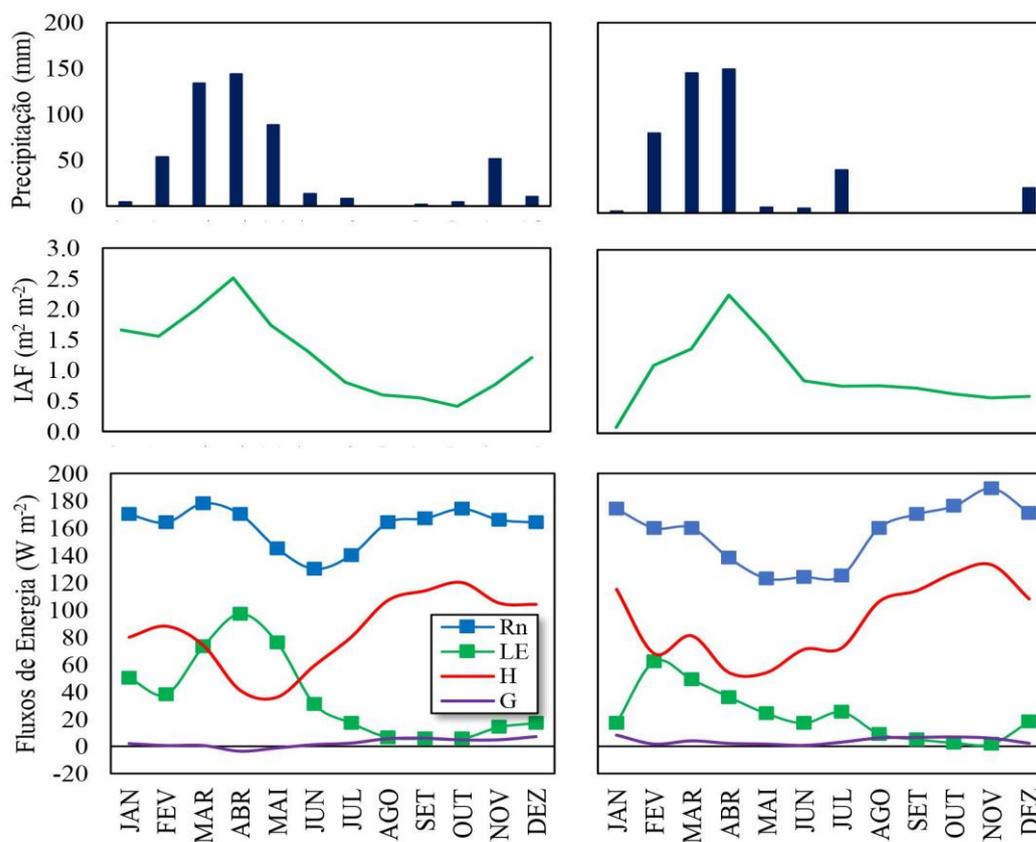
em que *Reco.ref* é a respiração de ecossistema a uma temperatura de referência ($T_{ref} = 15^\circ\text{C}$), E_0 é a energia de ativação ou a dependência da *Reco* no valor da temperatura expressa, e T_0 é a temperatura da linha da base ajusta a -42°C .

3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 apresenta os valores mensais da Precipitação acumulada e os valores médios do IAF e dos componentes do balanço de energia durante os anos estudados. Na referida Figura é evidente o importante papel da precipitação para as atividades fotossintéticas da Caatinga. Nota-se que durante a estação chuvosa (de fevereiro a abril), quando os valores mensais da precipitação ultrapassam os 100 mm, a Caatinga apresenta a maior a cobertura foliar, conforme indica o Índice de Área Foliar (IAF) que é superior $2,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Por outro lado, a partir de julho, quando se estabelece a estação seca, o IAF é reduzido a valores médios mensais abaixo de $1,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Essa diminuição do IAF da Caatinga durante a estação seca em relação a estação chuvosa ocorre devido a perda de quase todas as folhas da maioria das espécies. Essa perda foliar é uma estratégia desenvolvida pelas plantas desse bioma para resistir ao déficit hídrico a qual é denominada de tolerância à dessecação (SCHULZE et al., 2002; DOMBROSKI et al., 2011).

O crescimento do IAF é um indicativo da ativação da produção fotossintética das plantas e da atividade microbiana do solo. Durante a estação chuvosa os valores médios mensais de LE são mais elevados e se aproximam de 100 W m^{-2} (Figura 1), concomitantemente com os totais acumulados mensais da GPP que também alcançam os valores mensais mais elevados da ordem a 60 g C m^{-2} (Figura 2). Além de LE e GPP, nota-se, também, um aumento nos valores do Reco (Figura 2), indicando um aumento das atividades autotrófica das plantas e microbiana do solo. Por outro lado, durante a estação seca, o IAF é reduzido a valores predominantemente abaixo de $1,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, os valores médios mensais do LE atingem valores próximos a zero (0) (Figura 1) e GPP diminui e atinge os valores mínimos de aproximadamente 20 g C m^{-2} (Figura 2) e, consequentemente o H predomina, cujos valores médios mensais ultrapassam 100 W m^{-2} (Figura 1).

Figura 1. Valores mensais da precipitação acumulado e das médias do Índice de Área Foliar (IAF) e dos componentes do balanço de energia observados sobre a Caatinga na ESEC-Seridó durante os anos de 2014 (painel da direita) e 2015 (painel da esquerda)



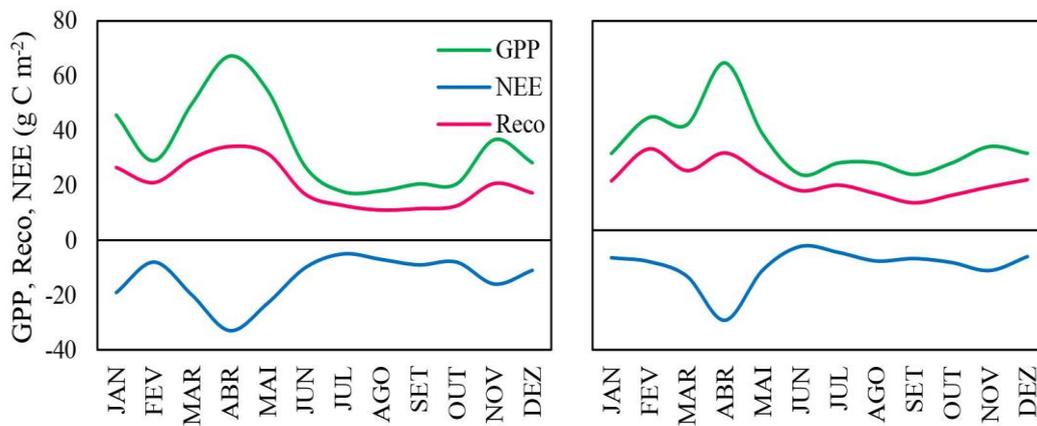
A relação entre as atividades fotossintéticas e microbianas do ecossistema é evidenciada pela similaridade entre as curvas de LE, GPP e Reco com o padrão anual da curva do IAF e, com o padrão anual da precipitação.

O importante papel da precipitação como forçante do particionamento do balanço de energia e das atividades fotossintéticas sobre as florestas de regiões semiáridas já é conhecido na literatura científica em várias regiões do planeta (BAN-WEISS et al., 2011; LÓPEZ-BALLESTEROS et al., 2016; A et al., 2019; SERRANO-ORTIZ et al., 2020).

Ao contrário de LE e H, cujos padrões anuais são modulados pela precipitação, Rn e G aparentemente são pouco influenciados pela condição de hídrica. Nota-se na Figura 1 que Rn apresentou um padrão condizente com a sazonalidade energética, haja vista que os seus respectivos valores mínimos mensais ocorreram de junho à julho, época do inverno vernal, enquanto os valores médios mensais máximos ocorreram durante o verão vernal. G, por sua vez, quase não apresentou variabilidade durante o ano.

Na Figura 2 é claro o comportamento da Caatinga como sumidouro de CO₂, isto é, com valores do NEE negativo durante todos os meses do ano, mesmo durante os meses de elevado déficit hídrico ao qual a região foi submetida na estação seca. Isso evidencia que a atividade fotossintética de algumas espécies não cessa completamente. Algumas espécies, tais como a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.) e o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), abundante na área de estudo (MARQUES et al., 2020; MENDES et al., 2020), mantém a maioria das folhas durante a estação seca e, naturalmente, mantém atividade fotossintética.

Figura 2. Valores acumulados mensais dos componentes do balanço de CO₂ sobre a Caatinga durante os anos de 2014 (esquerda) e 2015 (direita)



A Tabela 1 apresenta os valores anuais dos componentes do balanço de CO₂ e a ET observados na Caatinga durante os dois estudados. Os valores do GPP, Reco e NEE observados sobre a Caatinga são predominantemente inferiores aos valores observados em outras florestas quer sejam tropicais, temperadas ou boreais ao redor do planeta (HOLLINGER et al., 2004; LUYSSAERT et al., 2007; KNEWLESS et al., 2020; SERRANO-ORTIZ et al., 2020). Naturalmente, esses valores observados na Caatinga são compatíveis com valores observados em outras regiões semiáridas (ZHAO et al., 2019).

Tabela 1. Valores acumulados anuais de GPP, Reco, NEE e ET, além dos valores anuais da razão GPP/NEE observados na Caatinga durante os dois anos estudados

	GPP	Reco	NEE	ET	NEP/GPP
	g C m ⁻² ano ⁻¹			mm	-
2014	415	245	-170	473	0,40
2015	334	189	-145	283	0,43

Em compensação os valores do NEP/GPP da ordem de 0,40 é consideravelmente aos valores observados em todos os estudos citados acima. A razão NEP/GPP, que é uma métrica utilizada para avaliar a eficiência de uso do carbono pelos ecossistemas terrestres (ROTENBERG e YAKIR, 2010). O NEP (sigla do inglês *Net Ecosystem Production*) é a produtividade líquida do ecossistema é calculado como $NEP = -NEE$ (FERNÁNDEZ-MARTINEZ et al., 2014). De acordo Rotenberg e Yakir (2010) baixos valores de GPP e Reco sobre florestas semiáridas são comuns e característicos dessas florestas. Porém, o elevado NEP/GPP a tornam sumidouros com intensidades muitas vezes compatíveis com as demais florestas. Os valores de NEE iguais a -170 e -145 g C m⁻² ano⁻¹ observados durante os anos de 2014 e 2015, respectivamente, são compatíveis com os valores observados em outras florestas mais úmidas (HOLLINGER et al., 2004; LUYSSAERT et al., 2007; KOSUGI et al., 2009; SERRANO-ORTIZ et al., 2020). Assim, recentemente, o decisivo papel que as florestas semiáridas desempenham na variabilidade interanual do ciclo global do carbono, tem sido reconhecido (AHLSTRÖM et al., 2015).

4. Considerações Finais

Apresentamos resultados gerais sobre as trocas de calor, vapor d'água e CO₂ sobre o ambiente de Caatinga. Utilizamos dados coletados in situ em uma área de Caatinga preservada (Estação Ecológico do Seridó, ESEC-Seridó). A partir dessas informações foi possível concluir que a Caatinga atuou como sumidouro de CO₂ mesmo durante o período de estresse hídrico. Os totais de GPP, Reco e NEE da Caatinga são consideravelmente inferiores aos valores observados em outras florestas de regiões mais úmidas. Por outro lado, a razão NEP/GPP observado na Caatinga é superior aos das demais floresta. Isso sugere que a Caatinga é mais eficiente no uso do carbono, confirmando hipóteses previamente sugeridas para florestas semiáridas.

Referências

- A, Y.; WANG, G.; LIU, T.; XUE, B.; KUCZERA, G. Spatial variation of correlations between vertical soil water and evapotranspiration and their controlling factors in a semi-arid region. **Journal of Hydrology**, v. 574, p. 53-63, 2019.
- AHLSTRÖM, A. et al. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. **Science**, v. 348, p. 895–89, 2015.
- ARAÚJO, A. C. et al. The spatial variability of CO₂ storage and the interpretation of eddy covariances fluxes in central Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 226–237, 2010.
- BALDOCCHI, D. D.; XU, L.; KIANG, N. How plant functional-type, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy balance of an oak-grass savanna and a annual grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, p. 13-39, 2004.
- BAN-WEISS, G.A.; BALA, G.; CAO, L.; PONGRATZ, J.; CALDEIRA, K. Climate forcing and response to idealized changes in surface latent and sensible heat. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 034032, 2011.
- BORGES, C. K. et al. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 524, 2020.
- CAMPOS, S. et al. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 271, p. 398–412, 2019.
- CIAIS, P. et al. Five decades of northern land carbon uptake revealed by the interhemispheric CO₂ gradient. **Science**, v. 568, p. 221–225, 2019.
- COLLINS, W. J. et al. Global and regional temperature-change potentials for near-term climate forcings. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, p. 2471–2485, 2013.
- da ROCHA, H.R. et al. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, p. 522–532, 2004.

- da SILVA, P.F. et al. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 147, p. 71–82, 2017.
- DOMBROSKI, J. L. D. et al. 2011. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South Africa Journal of Botany**, v. 77, p. 430–434, 2011.
- FERNÁNDEZ-MARTINEZ, M. et al. Nutrient availability as the key regulator of global forest carbon balance. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 471–476, 2014.
- HAO, Y.; WANG, Y.; HUANG, X.; CUI, X.; ZHOU, X.; WANG, S.; NIU, H.; JIANG, G. Seasonal and interannual variation in water vapor and energy exchange over a typical steppe in Inner Mongolia, China, **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 146, p. 57–69, 2007.
- HOLLINGER, D.Y. et al. Spatial and temporal variability in forest–atmosphere CO₂ exchange. **Global Change Biology**, v. 10, p. 1689–1706, 2004.
- KEENAN, T. F.; WILLIAMS, C. A. The Terrestrial Carbon Sink. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 43, p. 219–243, 2018.
- KNOWLES, J. F.; SCOTT, R. L.; MINOR, R. L.; BARRON-GAFFORD, G. A. Ecosystem carbon and water cycling from a sky island montane forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 281, n. 107835, 2020.
- KOCH, R.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KLEINSCHMIT, B. 2017. Revealing areas of high nature conservation importance in a seasonally dry tropical forest in Brazil: combination of modelled plant diversity hot spots and threat patterns. **Journal for Natural Conservations**, v. 35, p. 24–39, 2007.
- KOSUGI, Y., TAKANASHI, S., OHKUBO, S., MATSUO, N., TANI, M., MITANI, T., TSUTSUMI, D., NIK, A.R., 2009. CO₂ exchange of a tropical rainforest at Pasoh in Peninsular Malaysia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, p. 439–452, 2009.
- Le QUÉRÉ, C. et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience**, v. 2, p. 831–836, 2009.
- LLOYD, J.; TAYLOR, J. A. On the temperature dependence of soil respiration. **Functional Ecology**, v. 8, p. 315–323, 1994.

- LÓPEZ-BALLESTEROS, A.; SERRANO-ORTIZ, P.; SÁNCHEZ-CAÑETE, E. P.; OYONARTE, C.; KOWALSKI, A. S.; PÉREZ-PRIEGO, Ó; DOMINGO, F. Enhancement of the net CO₂ release of a semiarid grassland in SE Spain by rain pulses, **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.121, p. 52–66, 2016.
- LUYSSAERT, S. et al. CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forest derived from a global database. **Global Change Biology**, v. 13, p. 2509–2537, 2007.
- MARQUES, T. V. et al. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 287, n. 107957, 2020.
- MENDES, K. R. et al. Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Scientific Reports**, v. 10, n. 9454, 2020.
- PAW U, K. T. et al. Carbon Dioxide Exchange Between an Old-growth Forest and the Atmosphere. **Ecosystems**, v. 7, p. 513–524, 2004.
- ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Contribution of Semi-Arid Forests to the Climate System. **Science**, v. 327, p. 451-454, 2010.
- SCHULZE, E.-D.; BECK, E.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K. **Plant Ecology**, Berlin, Springer-Verlag, 2002.
- SERRANO-ORTIZ, P. et al. Transition period between vegetation growth and senescence controlling interannual variability of C fluxes in a Mediterranean reed wetland. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, e2019JG005169, 2020.
- STOY, P. C. et al. Variability in net ecosystem exchange from hourly to inter-annual time scales at adjacent pine and hardwood forests: a wavelet analysis. **Tree Physiology**, v. 25, p. 887–902, 2005.
- TERAMOTO, M.; LIANG, N.; TAKAHASHI, Y.; ZENG, J.; SAIGUSA, N. Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 274, p. 106–117, 2019.

von RANDOW, C. et al. Inter-annual variability carbon and water fluxes in Amazonian, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 182-183, p. 145–155, 2013.

ZHAO, H.; JIA, G.; WANG, H.; ZHANG, A.; XU, X. Seasonal and interannual variations in carbon fluxes in East Asia semiarid grasslands. **Science of the Total Environment**, v. 668, p. 1128–1138, 2019.

Capítulo 2

Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica sob Condições de Céu Claro na Região Seridó Potiguar

Ane Caroline Cândido Firmo de Oliveira; Mariana Melissa de Lima Vieira; Daniel F. da Silva, Keila Rego Mendes; Claudio Moisés Santos e Silva; Bergson Guedes Bezerra

Resumo: Estimar precisamente a radiação de onda longa atmosférica (L_{\downarrow}) é extremamente importante para determinar o saldo de radiação, que, por sua vez, modula a amplitude dos termos no balanço de energia à superfície. O instrumento que mede diretamente L_{\downarrow} é o pirgeômetro, que é raramente disponível em estações meteorológicas. Assim, nas últimas décadas, têm sido desenvolvidos vários métodos para estimar L_{\downarrow} onde não há pirgeômetros, baseadas somente em variáveis atmosféricas disponíveis em estações meteorológicas. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho dos principais modelos para estimativa da radiação de onda longa atmosférica para as condições de céu claro no Seridó Potiguar. De todos os modelos analisados, aqueles que utilizam como dados de entrada a temperatura do ar e a pressão real de vapor foram os que apresentaram o melhor desempenho, especialmente o modelo proposto por Prata (1996).

Palavras-chave: Radiação de onda longa; emissividade atmosférica; céu claro.

1. Introdução

O fluxo de vapor de água e o balanço de energia (BE) são considerados como os mais importantes fatores relacionados ao sequestro de CO₂, tendo em vista que são específicas de cada local (BALDOCCHI et al., 2004). Porém, para Crawford e Duchon (1999) é difícil estabelecer certeza em relação à magnitude das estimativas da radiação de onda longa atmosférica (L_{\downarrow}) que são de extrema importância para determinar o saldo de radiação que modula a amplitude dos termos no BE à superfície.

Para medir diretamente L_{\downarrow} é utilizado o pirgeômetro, entretanto, é um instrumento de alto custo e necessita de procedimentos periódicos de calibração. Talvez por essa razão seja um componente do balanço de radiação à superfície que é raramente disponível nas estações meteorológicas (DUARTE et al., 2006; KRUK et al., 2010; SANTOS et al., 2011). A estimativa de L_{\downarrow} é feita utilizando a Lei de Stefan-Boltzmann com base na temperatura do ar. No entanto, a dificuldade maior da utilização desse modelo é estimar a emissividade atmosférica (ε_{ar}), que é altamente dependente das condições atmosféricas, tais como nebulosidade. Vários modelos têm sido propostos para estimar ε_{ar} baseados unicamente nas variáveis atmosféricas disponíveis em estações meteorológicas e, assim, viabilizar a estimativa de L_{\downarrow} em locais onde não há observações disponíveis. Porém, vale lembrar que esses modelos são válidos apenas para condições de céu claro. A maioria dos métodos apresentaram um razoável sucesso, mas Crawford e Duchon (1999) alertam para a necessidade de se desenvolver novos métodos, pois o principal problema parece ser a versatilidade, ou seja, os métodos são desenvolvidos empiricamente em um único local e com um conjunto de instrumentos e sua aplicabilidade em outras áreas gera bastante incertezas. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho dos principais modelos para estimar a emissividade atmosférica sob condições de céu claro utilizando dados observados em um sítio experimental em área de caatinga no Seridó Potiguar.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado a partir de um conjunto de dados observados sobre a Caatinga na Estação Ecológica do Seridó (ESEC-Seridó) em Serra Negra do Norte, no Rio Grande do Norte. O clima da região é semiárido de baixa latitude e altitude (BSh) de

acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014). A estação chuvosa ocorre entre janeiro e maio, com precipitação média anual inferior a 700 mm, temperatura média do ar de 25 ° C e umidade relativa do ar em torno de 60% (média de 30 anos) (MENDES et al., 2020).

Os dados de L_{\downarrow} foram medidos a cada meia-hora por um saldo radiômetro modelo CNR4 (*Kipp & Zonen, Delf, The Netherlands*), o qual foi instalado sobre uma torre de fluxos na ESEC-Seridó (6°34'42"S, 37°15'05"W, 205 m acima do nível médio do mar).

Foram testados vários modelos empíricos para estimar ε_a (Tabela 1). Os referidos modelos são válidos para as condições de céu claro. Assim, inicialmente foram selecionados todos os dias de céu claro a partir do banco de dados de dois anos de observações ininterruptas (2014 e 2015). O critério para a escolha o dia de céu claro foi a fração de nuvem (cfl – *cloud fraction*), calculado de acordo com Deardorff (1978).

$$cfl = 1 - \frac{I}{\hat{I}} \quad (1)$$

na qual I é a irradiância solar diária medida pelo CNR4, enquanto \hat{I} é o valor teórico da irradiância solar para dia de céu claro. O valor de \hat{I} foi calculado utilizando a equação de Ångström-Prescott (equação seguinte) considerando $n = N$ (condição de céu claro) e o valor de $a + b$ médio da região do Seridó Potiguar encontrado por Medeiros et al. (2017). Foi considerado dia de céu claro quando $cfl < 0,05$.

$$I = \left[a + b \cdot \left(\frac{n}{N} \right) \right] \cdot I_0 \quad (2)$$

na qual I_0 é a radiação extraterrestre calculado conforme Medeiros et al. (2017).

A posteriori, os valores diários de L_{\downarrow} foram estimados pela equação de Stefan-Boltzmann, a qual é apresentada na sequência:

$$L_{\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_{ar}^4, \quad (3)$$

em que T_{ar} é a temperatura do ar, medida com uma sonda modelo HMP155A (*Vaisala Corporation, Helsinki, Finland*) e σ é a constante de Stefan-Boltzmann. Os modelos empíricos para estimar ε_a avaliados estão listados na Tabela abaixo.

Tabela 1. Modelos para estimativa da emissividade atmosféricas

ID	Modelo	Fonte
01	$\varepsilon_{ar} = 9,365 \cdot 10^{-6} \cdot T_{ar}^2$	Swinbank (1963)
02	$\varepsilon_{ar} = 1 - 0,26 \cdot \exp[-7,77 \cdot 10^{-4} \cdot (273 - T_{ar})^2]$	Idso e Jackson (1969)
03	$\varepsilon_{ar} = 0,643 \cdot \left(\frac{e_a}{T}\right)^{1/7}$	Brutsaert (1975)
04	$\varepsilon_{ar} = 0,70 + 5,95 \cdot 10^{-5} \cdot e_a \cdot \exp\left(\frac{1500}{T_{ar}}\right)$	Idso (1981)
05	$\varepsilon_{ar} = 0,714 \cdot \left(\frac{e_a}{T}\right)^{0,0687}$	Sugita e Brutsaert (1993)
06	$\varepsilon_a = \{1 - (1 + \xi \cdot \exp[-(1,2 + 3 \cdot \xi)^{0,5}])\}$, onde, $\xi = 0,465 \cdot \left(\frac{e_a}{T_{ar}}\right)$	Prata (1996)
07	$e_a = 0,625 \cdot \left(\frac{e_a}{T_{ar}}\right)^{0,131}$	Duarte et al. (2006)
08	$e_a = 0,575 \cdot \left(\frac{e_a}{T_{ar}}\right)^{0,202}$	Kruk et al. (2010)

em que e_a é a pressão real de vapor de água, derivado da temperatura obtida por uma sonda de temperatura de umidade relativa do ar modelo HMP45C (*Vaisala Corporation, Helsink, Finland*).

Para avaliar o desempenho de cada modelo foram utilizados o MBE (*Mean Bias Errors*), o RMSE (*Root Mean Square Error*), (MOSTAFAVI et al., 2013), o coeficientes de correlaçãode Pearson (r) (WILKS, 2006) e o índice de concordância de Willmott (WILLMOTT e MATSUURA, 2005).

3. Resultados e Discussão

De forma geral, observou-se que as estimativas de quatro dos oito modelos analisados (Modelos 03, 05, 07 e 08) subestimaram, enquanto as estimativas de dois modelos (modelos 01 e 02) superestimaram os valores medidos. Os modelos 01 e 02, únicos baseados apenas na temperatura do ar, foram previamente testados na região do Baixo Jaguaribe no estado do Ceará e, também, foram os únicos a superestimar os valores

medidos (SANTOS et al., 2011). Aparentemente, os modelos que utilizam apenas a temperatura do ar não são recomendáveis para as condições do Semiárido Brasileiro, provavelmente devido a baixa variabilidade sazonal da temperatura do ar da região.

Analisando a Tabela 2 constata-se que todos os modelos avaliados captaram a variação diurna de L_d , pois os seus respectivos coeficientes de Pearson foram todos superiores a 0,88, indicando fortes correlações entre os valores observados e estimados. No entanto, avaliando os demais parâmetros da referida Tabela, constata-se que os modelos que alcançaram os melhores desempenhos foi o Modelo 04 (IDSO, 1981) e o Modelo 06, proposto por Prata (1996).

Tabela 2. Sumário das análises estatísticas de cada modelo testado.

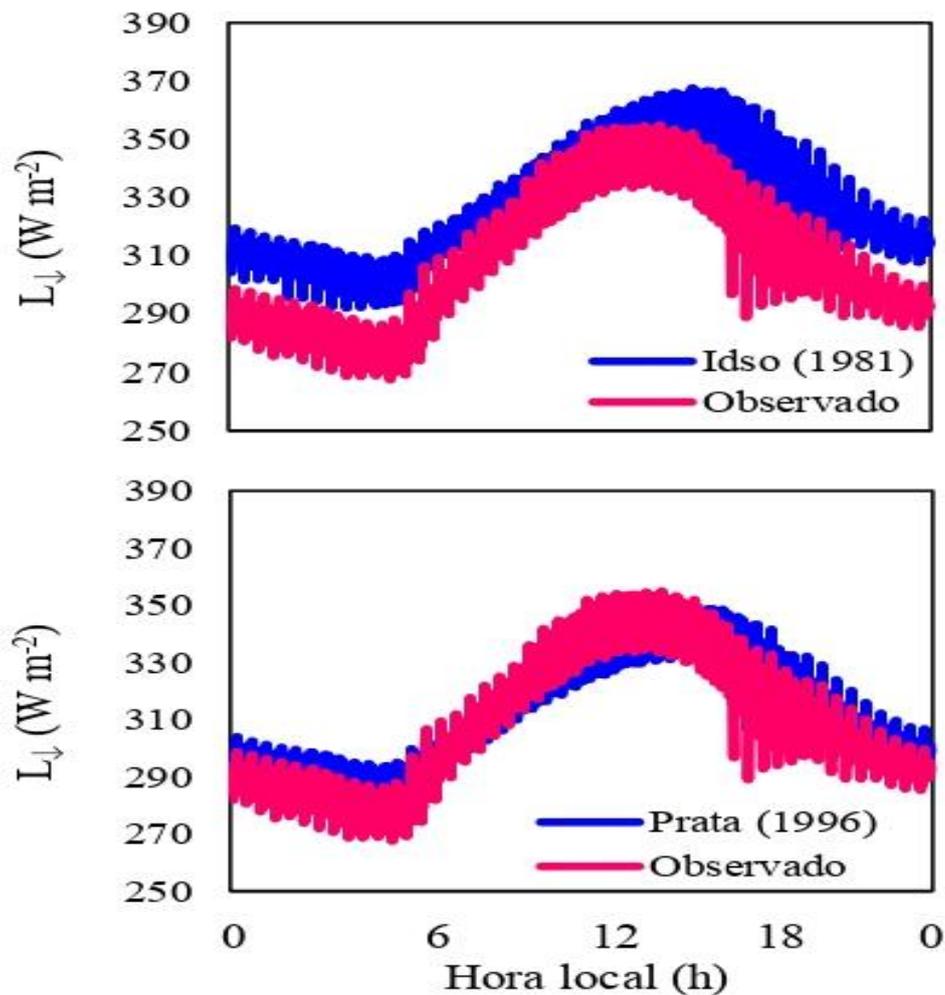
Modelo	MBE	RMSE	Pearson (r)	d
Swinbank (1963)	0,289	91,00	0,97	0,33
Idso e Jackson (1969)	0,304	95,63	0,97	0,32
Brutsaert (1975)	-0,540	168,35	0,88	0,20
Idso (1981)	0,061	19,50	0,97	0,80
Sugita e Brutsaert (1993)	-0,245	77,33	0,96	0,37
Prata (1996)	0,009	6,914	0,97	0,99
Duarte et al. (2006)	-0,524	163,31	0,90	0,21
Kruk et al. (2010)	-0,698	217,01	0,72	0,16

O Modelo 06 (PRATA 1996), em particular, apresentou os melhores indicadores de desempenho (menor BEM, menor RMSE e menor índice de concordância, igual a 0,99). Em seguida o Modelo 04 (IDSO, 1981) também apresentou desempenho satisfatório, porém indicadores mais modestos que o Modelo 06. Tanto do Modelo 04 (IDSO, 1981) quanto o Modelo 06 (PRATA, 1996) são baseados na pressão real de vapor, além da temperatura do ar. Isso pode ser a hipótese mais provável para os melhores desempenho de ambos, pois estudo prévios já apontaram os modelos mais simples, baseados unicamente na temperatura do ar, com os resultados mais pobres.

Os respectivos desempenhos dos Modelos 04 e 06 podem ser apreciados na Figura 1. As curvas da Figura abaixo confirmam o que os indicadores de desempenho já haviam evidenciado: o melhor desempenho do Modelo 06 (PRATA, 1996). Nota-se que, apesar

do bom desempenho alcanço pelo modelo 04 (IDSO, 1981), o mesmo superestimou os valores observados durante todo o período diário.

Figura 1. Ciclo diário de valores da L_{\downarrow} observados e estimados pelo Modelo 04 (IDSO, 1981) e pelo modelo 06 (PRATA, 1981)



4. Conclusão

A partir desse estudo, avaliamos que os modelos que apresentaram os melhores desempenhos para estimar a radiação de onda longa atmosférica para as condições de céu claro na região do Seridó são os Modelos 04 (IDSO, 1981) e 06 (PRATA, 1996). No entanto, o Modelo 06 apresentou desempenho consideravelmente superior e é recomendado.

Referências

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2014.
- BALDOCCHI, D. D.; XU, L.; KIANG, N. How plant functional-type, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy balance of an oak-grass savanna and a annual grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 123, p. 13-39, 2004.
- BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resource Research**, v. 11, p. 742–744, 1975.
- CRAWFORD, T. M.; DUCHON, C. E. An improved parameterization for estimating effective atmospheric emissivity for use in calculating daytime downwelling longwave radiation. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 474–480, 1999.
- DEARDORFF, J. W. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with an inclusion of a layer of vegetation. **Journal of Geophysics Research**, v. 83, p. 1889–1903, 1978.
- DUARTE, H. F., DIAS, N. L., MAGGIOTTO, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 139, p. 171–181, 2006.
- IDSO, S. B., JACKSON, R. D. Thermal radiation from the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 74, p. 5397–5403, 1969.
- KRUK, N. S.; VENDRAME, I. F.; ROCHA, H. R.; CHOU, S. C.; CABRAL, O. Downward longwave radiation estimates for clear and all-sky conditions in the Sertãozinho region of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, p. 115–123, 2010.
- MEDEIROS, F. J.; SANTOS E SILVA, C. M.; BEZERRA, B. G. Calibration of Ångström-Prescott Equation to Estimate Daily Solar Radiation on Rio Grande do Norte State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 409-461, 2017.
- MENDES, K. R. et al. Seasonal variation in net ecosystem CO₂ exchange of a Brazilian seasonally dry tropical forest. **Scientific Reports**, v. 10, n. 9454, 2020.

- MOSTAFAVI, E. S.; REMIYANI, S. R.; SARVAR, R.; MOUD, H. I.; MOUSAVI, S. M. A hybrid computational approach to estimate solar global radiation: An empirical evidence from Iran. **Energy**, v. 49, p. 204-210, 2013.
- PRATA, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 122, p. 1127–1151, 1996
- SANTOS, C.A.C.; SILVA, B.B.; RAO, T.V.R.; SATYAMURTY, P.; MANZI, A.O. Downward Longwave Radiation Estimates for Clear-Sky Conditions over Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 443-450, 2011.
- SUGITA, M.; BRUTSAERT, W. H. Cloud effect in the estimation of instantaneous downward longwave radiation. **Water Resources Research**, v. 29, p. 599–605, 1993.
- SWINBANK, W. C. Long-wave radiation from clear skies. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 89, p. 339–348, 1963.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 2006. 627 p.
- WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, p. 79-82, 2005.

Capítulo 3

Algumas evidências de formação de ilhas de calor urbana na cidade de Natal, RN¹

Caio Vasconcelos Pinheiro da Costa; Bergson Guedes Bezerra;
Paula Andressa Alves de Araújo; Cláudio Moisés Santos e Silva

Resumo: O presente estudo teve por objetivo identificar indícios da formação de ilhas de calor urbana na cidade de Natal-RN. Para isso, utilizaram-se um conjunto de dados meteorológicos coletados no período de 1970 a 2010 em dois locais: i) Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), que faz parte da rede de observações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); ii) e do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI). As variáveis utilizadas foram: temperatura média, temperatura mínima e umidade relativa. Foi realizada uma análise sobre a variação sazonal das variáveis meteorológicas. Além disso, foram avaliadas as tendências nas séries temporais através do teste estatístico de Mann-Kendall e o método de estimativa de inclinações de Sen sobre o conjunto de dados. Observou-se para a temperatura média na UFRN/INMET uma tendência de aumento nos meses de maio, julho e setembro, nos níveis de significância de 10%, 5% e 10%, respectivamente. No CLBI houve tendência de crescimento da temperatura média no mês de fevereiro, no nível de significância de 10%. Para a temperatura mínima foram observadas tendências de aumento significância estatística em quatro séries (janeiro, novembro, dezembro e média anual) na UFRN/INMET, nos níveis de 10%, 10%, 5% e 5%, respectivamente; por outro lado, na CLBI, apenas no mês de setembro, houve aumento com significância de 10%. A umidade relativa apresentou diminuição em janeiro, março, abril, maio, outubro, novembro e média anual, nos níveis de 5%, 1%, 0,1%, 10%, 5%, 5% e 0,1%, respectivamente na UFRN/INMET e aumento na CLBI com significância de 1% em junho, e de 5% em agosto. Essas tendências são mais evidentes na área urbana em relação às suas adjacências, evidenciando algumas características típicas das Ilhas de Calor Urbanas.

Palavras-chave: ilha de calor urbana; teste de Mann-Kendall; método de Sen; mudanças climáticas.

¹ Este capítulo é parte dos resultados da dissertação de Mestrado do Primeiro autor, desenvolvida no PPGCC/UFRN

1. Introdução

A cidade de Natal é conhecida por suas belas praias, por dias ensolarados durante a maior parte do ano e por uma natureza, em grande parte, ainda em estado nativo. Contudo, essa realidade mudou de forma muito perceptível nos últimos trinta anos. O crescente processo de urbanização com a expansão imobiliária, o aumento da cobertura de concreto e o aumento no número de automóveis promoveu uma alteração considerável na paisagem e, provavelmente, no microclima da cidade. Essas mudanças podem ser percebidas através da análise de variáveis atmosféricas.

Dessa forma, uma mensuração dessas alterações, seguido de sua análise, é algo bastante relevante. Para tal, torna-se indispensável a utilização das variáveis climáticas que estejam disponíveis, tais como temperatura média, temperatura mínima, umidade relativa, intensidade e direção do vento, radiação solar incidente, entre outras.

Hoje, mais da metade da população mundial é afetada pelas Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e esse número pode chegar a 5 bilhões de pessoas em 2030, segundo a *World Urbanization Prospects* (2007).

Sobre o surgimento do termo “Ilha de Calor Urbana”, Santos *et al.* (2012) diz:

Segundo Landsberg (1981), o termo “ilha de calor urbana” apareceu pela primeira vez na literatura de linguagem meteorológica inglesa em um trabalho de Gordon Manley (1958), no *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Mas, segundo Gartland (2010), a primeira documentação de calor urbano ocorreu em 1818, quando o estudo revolucionário sobre clima de Londres realizado por Luke Howard detectou um "excesso" de calor artificial na cidade, em comparação com o campo. Posteriormente, em Paris durante a segunda metade do século XIX, cientistas como Renou e Wilhelm Schimidt encontraram essas mesmas condições em Viena.

A maior parte dos estudos sobre Ilhas de Calor Urbanas foi realizada em cidades de latitude média, sendo ainda poucos os trabalhos em locais de latitudes baixas ou altas (OKE, 1982; GARTLAND, 2010). Assim, o presente estudo faz-se necessário para que seja possível conhecer as principais mudanças recentes no clima urbano da cidade do Natal, identificar seus possíveis agentes causadores e, dessa forma, propor sugestões para que essas alterações possam ser mitigadas.

Especificamente em Natal-RN, os estudos relacionados com essa temática partem da perspectiva da Arquitetura, como de forma mais localizada e restrita à vegetação ou ainda ao conforto térmico. Nessa perspectiva, Vidal (1992) estudou os fatores que mais influenciavam na distribuição de temperaturas da cidade. Já Alexandre *et al.* (2013) comparou séries de temperaturas máximas e mínimas do ar dentro da área urbana e no seu entorno entre 1995 e 2010, encontrando oscilações térmicas entre as duas regiões e características de ilhas de calor urbanas e ilhas de frescor urbanas em Natal. Assim, juntamente com o trabalho de Alexandre *et al.* (2013), o nosso estudo é um dos pioneiros na perspectiva das ilhas de calor.

Os resultados de Alexandre *et al.* (2013) mostraram que a cidade do Natal apresenta uma Ilha de Calor Urbana (ICU) fraca em pelo menos 25% dos dias, sendo a temperatura do ar nesses dias cerca de 0,9 °C maior que a do Aeroporto Internacional Augusto Severo, localizado na cidade de Parnamirim (região metropolitana de Natal). Também existe uma ICU moderada em 10% dos dias com valores maiores que 2 °C na cidade do Natal. Do total de 5.440 dias analisados pelos autores, a cidade do Natal apresentou para as temperaturas máximas mais de 1580 dias com a formação de ilhas de calor, isto é, as temperaturas máximas de Natal maiores que as do Aeroporto e, para a temperatura mínima, foram 2408 dias com formação de ilhas de calor, isto é, as temperaturas mínimas de Natal maiores que as do aeroporto em Parnamirim. Alexandre *et al.* (2013) também destaca que, em 10% dos 5.440 dias, Natal apresenta uma temperatura do ar 2 °C acima do aeroporto, o que revela a presença de uma ICU moderada. Ainda acrescenta que a cidade do Natal apresenta temperaturas mínimas maiores que as do Aeroporto Internacional Augusto Severo durante a maior parte do ano, enquanto que para as temperaturas máximas, esse comportamento se inverte.

No caso da cidade do Natal, existem inúmeros fatores que podem estar relacionados com a alteração no microclima local. Dentre eles estão a grande expansão da indústria da construção civil (com conseqüente verticalização da cidade), crescimento populacional significativo, aumento no número de automóveis (levando a maior emissão de poluentes para a atmosfera) e redução da vegetação no ambiente urbano. Esse crescimento não planejado e desordenado é uma das causas mais comuns de alterações climáticas locais, sendo reportado na literatura em diferentes cidades no mundo.

Natal está localizada em uma área costeira (Atlântico Sul), onde a topografia é formada por planícies do estuário do rio Potengi, solo argiloso, com a presença de vegetação de mangue e a maior parte da cidade é formada pelo relevo de dunas fixas e

móveis de areia, a primeira coberta com uma vegetação de floresta de restinga e o terreno ondulado de colinas com a presença de uma vegetação tropical florestal conhecida como Mata Atlântica (NUNES, 2009; CUNHA, 2004; CESTARO, 2002).

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho consistiu em realizar um estudo sobre o microclima da cidade do Natal/RN, procurando verificar se ocorrem características típicas do fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), procurando estabelecer relações desse fenômeno com o processo de urbanização, caracterizando-o temporalmente e fazendo uma análise estatística do conjunto de dados utilizados.

2. Material e métodos

O presente estudo objetivou analisar a formação de eventuais ilhas de calor urbano para a cidade do Natal (latitude 05° 47' 42" S, longitude 35° 12' 32" O e altitude de 30,9 m), estado do Rio Grande do Norte. A cidade do Natal está localizada na costa do Nordeste do Brasil (NEB), é caracterizada por um clima tropical litorâneo e, como é comum em regiões tropicais, apresenta apenas duas estações com definições mais claras. As temperaturas oscilam entre 24°C e 30°C, sendo de 26°C a média anual, de acordo com dados do INMET no período de 1961-1990. Entre dezembro e fevereiro (verão no hemisfério sul), as temperaturas se elevam e, entre março e julho, temos o período de chuvas. A cidade possui insolação bastante alta, chegando a uma duração de até 15 horas. A umidade, em geral, é alta, com valor médio de 77%. A chuva é a principal forma de precipitação, com média anual de 1465 mm, principalmente entre os meses de março e junho. Em relação aos ventos, a maior incidência é de ventos alísios de sudeste. As brisas marítimas e as brisas continentais também influenciam nas características climáticas da cidade.

Sobre o regime de precipitação na região alvo deste estudo, Santos e Silva *et al.* (2011) afirma que nas partes leste e sul do NEB, “a influência da penetração de sistemas frontais, convergência de umidade e circulações do tipo brisa determina os máximos de precipitação”. Além disso, acrescenta que o máximo de precipitação acontece no mês de julho, quando a ZCIT está na sua posição mais a norte.

Neste trabalho, dentre as possibilidades existentes, realizamos uma comparação dos dados de duas estações meteorológicas fixas, as estações meteorológicas do UFRN/INMET e do CLBI, respectivamente. Os dados do UFRN/INMET compreendem um intervalo de 1984 até 2010, todavia, apresentam várias lacunas, como no período de

1985 a 1989 e nos anos de 1991 e 1993. Nesse conjunto de dados são descritas diariamente as variáveis: umidade relativa, vento, precipitação, evaporação, insolação, nuvens e temperatura. Os dados da CLBI foram coletados entre 1977 e 2008, e também apresentam lacunas, como de 1992 a 2000 (para maiores detalhes acerca das lacunas, consulte o apêndice). As variáveis descritas diariamente nesse segundo conjunto são vento, nuvens, pressão, temperaturas (média, mínima e máxima), precipitação e umidade relativa. Para lidar com o problema das lacunas, usaremos a aproximação de que as médias referentes às variáveis climáticas nesses intervalos possuem os mesmos valores que as do restante do período. Apesar de estar localizada no interior da área urbana, a UFRN possui uma paisagem rica em vegetação e com estrutura predominantemente horizontal (Figura 1).

Figura 1. Estação meteorológica da UFRN/INMET, 2014.



Disponível em: <<http://www.cchla.UFRN/INMET.br/estacao/index/fotos.html>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

O CLBI, diferentemente da UFRN, fica numa área rodeada por vegetação, devido à existência de uma Área de Proteção Permanente rica em Mata Atlântica. Além disso, esse centro fica muito próximo ao mar, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2. Visão aérea do CLBI e do seu entorno.



Disponível em: < <http://www.aeb.gov.br/apresentacao-sobre-as-atividades-do-clbi>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

Para avaliar as tendências nas variáveis meteorológicas utilizamos o teste de Mann-Kendall que verifica tendências de longo prazo em séries temporais que não necessitam apresentar uma distribuição de probabilidade específica. O objetivo desse método é testar a hipótese nula (H_0) de não existir tendências, isto é, a hipótese de que os dados estejam dispostos aleatoriamente no decorrer do tempo. Se opondo à hipótese nula, existe a hipótese alternativa (H_1) de que exista uma tendência de crescimento ou decrescimento com o passar do tempo.

Inicialmente, os dados x_i são comparados dois a dois, através da diferença entre um elemento posterior e um elemento anterior. Quando a diferença é positiva, ou seja, quando o elemento posterior é maior que o anterior, é atribuído valor 1 (um) à variável *senal*. Caso a diferença seja negativa, ou seja, se o valor posterior for menor que o anterior, é atribuído valor -1 (menos um) à variável *senal*. Se forem iguais, a variável *senal* recebe valor 0 (zero). Esse resultado é computado em uma soma (S) e, em seguida, o próximo par de elementos é comparado, até que todos os n elementos tenham sido comparados dois a dois.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{senal}(x_j - x_k) \quad (4)$$

$$\text{senal}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & \text{se}(x_j - x_k) > 0 \\ 0, & \text{se}(x_j - x_k) = 0 \\ -1, & \text{se}(x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

No caso em que $n > 10$ (como acontece neste trabalho), a variável normal padronizada (Z) é calculada, da seguinte forma (DOUGLAS *et al.*, 2000):

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & se S > 0; \\ 0, & se S = 0; \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & se S < 0. \end{cases} \quad (7)$$

O valor de Z é utilizado como parâmetro para avaliar se existe alguma tendência que possua significância estatística. Valores positivos de Z indicam tendência de crescimento, enquanto que valores negativos de Z indicam tendência de decrescimento. Segundo Yu *et al.* (1993) *apud* Souza *et al.* (2012), se $|Z| \leq Z_{1-\alpha/2}$, deve ser aceita a hipótese nula H_0 de que os dados fazem parte de uma amostra de n variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas. Caso o valor absoluto de Z supere $Z_{1-\alpha/2}$, a hipótese alternativa H_1 de crescimento ou decrescimento deve ser aceita no nível de significância α . O valor de $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido a partir de uma tabela padrão de distribuição normal.

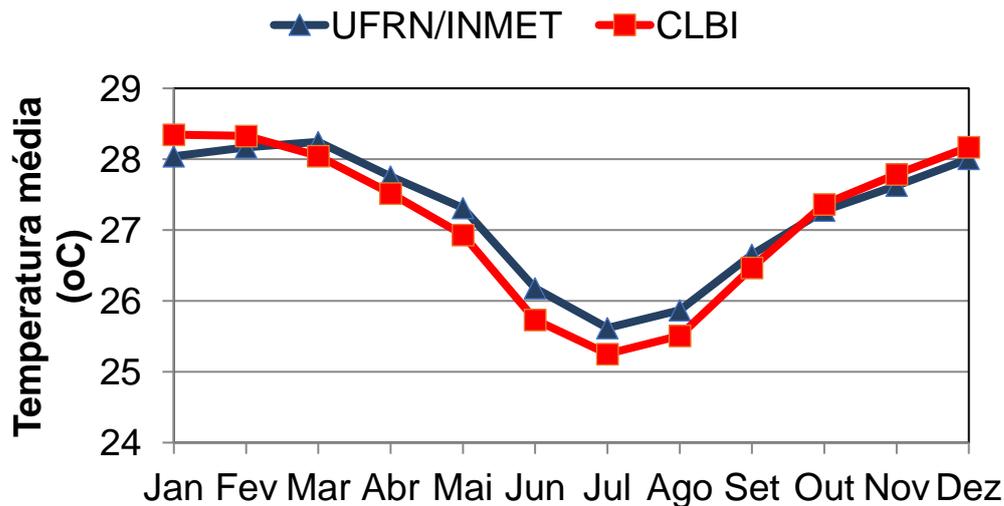
3. Resultados e discussão

A temperatura média em Natal (Figura 3) é menor no período chuvoso, que vai de março à julho. Após o fim do período de chuvas, a temperatura média começa a aumentar, atingindo os valores mais elevados entre dezembro e fevereiro, que corresponde ao verão no hemisfério sul. Durante o período chuvoso, a atmosfera próxima à superfície da Terra é mais úmida; portanto, podemos deduzir que a maior parte do saldo energético da radiação que incide sobre a superfície é convertido em fluxo de calor latente, usado para evaporar a água e uma menor parte é convertido em fluxo de calor sensível, produzindo aquecimento do ar. Logo, é esperado que a temperatura diminua quando se observam as chuvas e aumente com o término deste período. Assim, tomando as médias mensais para todo o período, o maior valor da temperatura média observado na UFRN/INMET foi 28,2°C em março, enquanto na CLBI foi 28,3°C em janeiro.

Por outro lado, as temperaturas médias mais baixas foram 25,6°C na UFRN/INMET e 25,2 °C na CLBI, ambas são registradas em julho, que é o mês de maior precipitação na região (SANTOS E SILVA *et. al.*, 2011). A menor amplitude térmica anual na UFRN/INMET, de 2,8°C, em comparação a CLBI (estação próxima ao oceano), de 3,3°C, pode ser explicada em função da menor variação da umidade relativa do ar na UFRN/INMET, pois uma vez que o ar encontra-se mais úmido, apresenta maior capacidade de armazenar calor devido à capacidade calorífica do vapor d'água.

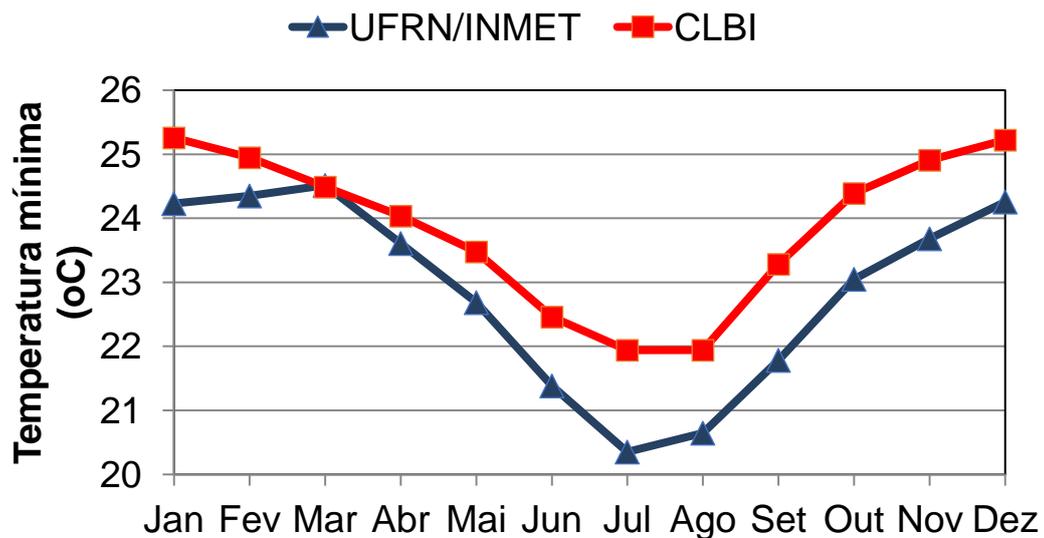
Conforme podemos observar na Figura 3, durante a maior parte do ano, a temperatura média na UFRN/INMET é superior àquela observada no CLBI, sendo essa a primeira evidência observacional de formação de ICU em Natal. Contudo, durante os meses mais secos, a temperatura na UFRN/INMET é inferior àquela observada na CLBI, uma vez que a umidade relativa do ar na UFRN/INMET é maior nesse período. A explicação mais provável para esse resfriamento acentuado na UFRN/INMET durante a estação seca seria em função do tipo de cobertura do solo, que exerce influência sobre o albedo (refletividade) de cada local. Em geral, regiões com maior cobertura de concreto, como é o caso da UFRN/INMET, apresenta albedo maior em comparação a uma área de maior cobertura vegetal (como é o caso da CLBI). Dessa forma, boa parte da radiação solar direta (ondas curtas) é refletida pelo concreto e, sendo assim, diminui a disponibilidade de energia para aquecer o solo. Uma vez que o solo retém menor quantidade de calor, ele emitirá (de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann) uma menor quantidade de radiação em ondas longas, ocasionando uma menor temperatura média do ar próxima à superfície.

Figura 3. Variação sazonal da temperatura média do ar medidas na estação da UFRN/INMET e no CLBI



A temperatura mínima (Figura 4) na UFRN/INMET em Julho chega a 20,2°C, enquanto o menor valor registrado na CLBI foi 21,9°C, em Julho e Agosto. Com exceção de Março, em que as médias da temperatura mínima foram muito próximas, o CLBI apresenta noites mais quentes e com menor amplitude anual em comparação à UFRN/INMET. Esse resultado é semelhantemente aos resultados obtidos por Alexandre et. al. (2013) que analisou dados de Natal e outra região com poucas construções em Parnamirim.

Figura 4. Idêntica à figura 3, mas para a temperatura mínima.

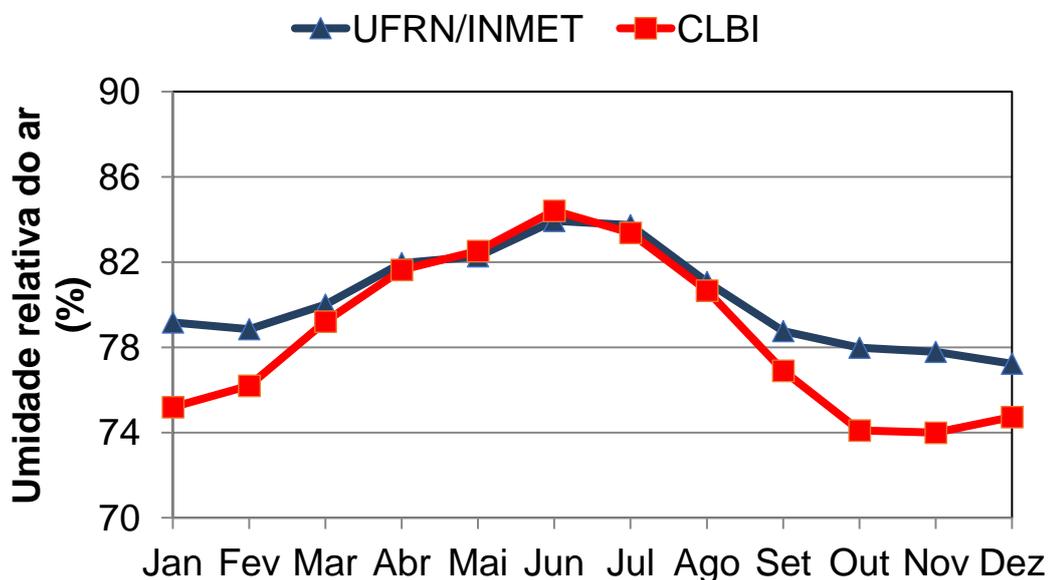


A umidade relativa do ar (Figura 5) é controlada pelo ciclo anual da precipitação. Nos meses mais chuvosos, as umidades são muito semelhantes, enquanto nos meses mais

secos, a umidade na UFRN/INMET é sempre maior. A maior média na UFRN/INMET é em torno de 84% em Junho e a menor chega a 77% em Dezembro. No CLBI, a maior média é 83,5% em Junho e a menor 74% em Outubro e Novembro. Uma vez que a região do CLBI tem maior cobertura vegetal, os valores mais elevados da umidade relativa na UFRN/INMET podem ter duas prováveis explicações: i) o resfriamento radiativo do ar próximo à superfície não é suficiente para condensar o vapor d'água, logo, a umidade relativa (que é uma medida proporcional da quantidade de vapor d'água) acumula-se no período de menor precipitação; ii) o vapor d'água é advectado para a região em função da proximidade e orientação com o mar.

Apresentam-se os resultados do teste de Mann-Kendall e da inclinação estimada pelo método de Sen, utilizando o *template* MAKESENS, referentes às séries temporais na UFRN/INMET e CLBI, estão representados nas tabelas 1 e 2, respectivamente. As principais informações do teste de Mann-Kendall apontam para evidências observacionais da formação de ilhas de calor urbana em Natal. Quanto às três variáveis analisadas, pode-se, de forma geral, estabelecer que:

Figura 5. Idêntica à Figura 3, mas para a umidade relativa do ar.



i) A temperatura média na estação da UFRN/INMET apresenta tendência positiva em todos os meses, mas com significância nos meses de Maio, Julho e Setembro. Na estação do CLBI, verificou-se tendência positiva na maioria dos meses, exceto em Junho,

Agosto, Setembro e Novembro. O único mês em que a tendência foi significativa ao nível de 10% foi em Fevereiro.

ii) A temperatura mínima na estação da UFRN/INMET apresentou tendência sempre positiva, no entanto, teve significância apenas em Novembro, Dezembro, Janeiro e na média anual. Já no CLBI, de Março à Julho, a tendência é positiva, enquanto de Agosto a Fevereiro é negativa. Contudo, a única tendência de decrescimento com significância aconteceu em Setembro;

iii) A umidade relativa do ar foi a variável que apresentou as tendências com maior significância tanto na UFRN/INMET quanto no CLBI. Na primeira estação, a tendência foi sempre negativa e com significância em Janeiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Novembro. Além disso, a umidade relativa anual também apresentou tendência negativa no nível de significância de 1%. Por outro lado, a umidade relativa no CLBI foi sempre positiva, exceto em Fevereiro quando obtivemos $Z = -0,26$. Nos outros meses, a tendência foi sempre de crescimento, com significância nos meses de Junho e Agosto, apresentando um grande contraste com os resultados da UFRN/INMET. Enquanto na UFRN/INMET houve redução na umidade, no CLBI houve um claro aumento.

Tabela 1. Resultados do teste Mann-Kendall para a estação da UFRN/INMET (+ Nível de significância de 10%, *Nível de significância de 5%, **Nível de significância de 1%, ***Nível de significância de 0,1%)

	Temperatura Média			Temperatura Mínima			Umidade Relativa Média		
	Teste Z	Sig.	Inclinação	Teste Z	Sig.	Inclinação	Teste Z	Sig.	Inclinação
Jan	1,47		0,020	1,86	+	0,112	-2,39	*	-0,465
Fev	1,12		0,025	0,77		0,045	-0,68		-0,071
Mar	1,52		0,043	1,31		0,115	-2,84	**	-0,441
Abr	1,40		0,048	1,04		0,070	-3,72	***	-0,340
Mai	1,69	+	0,044	1,20		0,112	-1,78	+	-0,323
Jun	0,94		0,012	0,67		0,063	-1,22		-0,164
Jul	2,08	*	0,034	1,64		0,181	-0,92		-0,205
Ago	0,79		0,016	0,88		0,090	-1,20		-0,196
Set	1,73	+	0,019	0,99		0,115	-1,53		-0,140

Out	0,75	0,013	1,30		0,103	-1,99	*	-0,269
Nov	0,66	0,017	1,86	+	0,155	-2,19	*	-0,619
Dez	0,00	0,001	1,97	*	0,119	-1,64		-0,253
ANUAL	1,25	0,018	2,30	*	0,117	-3,48	***	-0,351

Tabela 2. Resultados do teste Mann-Kendall para a estação da CLBI (+ Nível de significância de 10%, *Nível de significância de 5%, **Nível de significância de 1%, ***Nível de significância de 0,1%)

	Temperatura Média			Temperatura Mínima			Umidade Relativa Média		
	Teste Z	Sig.	Inclinação	Teste Z	Sig.	Inclinação	Teste Z	Sig.	Inclinação
Jan	1,06		0,025	-0,55		-0,017	0,42		0,032
Fev	1,90	+	0,042	-0,16		-0,004	-0,26		-0,025
Mar	1,27		0,035	0,11		0,004	0,42		0,043
Abr	0,85		0,023	0,55		0,008	1,21		0,091
Mai	1,18		0,026	1,07		0,015	0,68		0,026
Jun	-0,17		-0,002	0,90		0,011	2,68	**	0,190
Jul	0,34		0,011	1,24		0,012	1,07		0,091
Ago	-0,34		-0,006	-0,51		-0,006	2,06	*	0,145
Set	-0,17		-0,004	-1,69	+	-0,037	1,38		0,078
Out	0,28		0,008	-1,50		-0,025	1,24		0,074
Nov	-0,06		-0,001	-1,64		-0,043	1,64		0,067
Dez	0,51		0,014	-1,13		-0,023	0,96		0,089
ANUAL	0,74		0,014	-0,45		-0,007	0,85		0,029

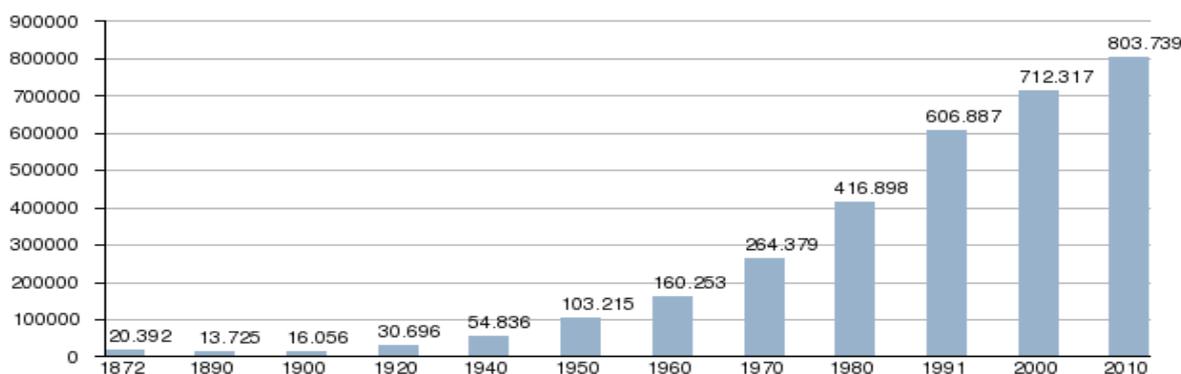
A partir do estudo das séries temporais de dados observamos que as tendências de crescimento para a temperatura média e temperatura mínima são bem mais evidentes na

área urbana que na área não urbana. Além disso, observamos, também, a clara tendência de diminuição dos valores da unidade relativa média em Natal quando comparados à região circunvizinha.

De acordo com dados do CENSO Demográfico (Figura 6), em 1970 a população de Natal era de 264.379 habitantes. Em 2010, a população já era de 803.739 habitantes, ou seja, a população triplicou num período de 40 anos. A população estimada pelo IBGE para 2014 é de 862.044 habitantes. O aumento populacional está diretamente ligado com o aumento da cobertura de concreto nas cidades, no nosso caso particular, em muito relacionada à expansão do setor imobiliário, e com a maior emissão de poluentes.

Figura 6. Censo Demográfico / IBGE (1872 – 2010).

Evolução demográfica do município de Natal (1872-2010)



Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

4. Conclusão

Além das explicações físicas que foram mencionadas, é importante ressaltar que outros fatores podem ocasionar diferenças na variação sazonal das variáveis analisadas. A mais crítica é o fato de se ter analisado dados de períodos não necessariamente coincidentes. Sabe-se que regiões tropicais são influenciadas por outras oscilações de menor frequência, por exemplo, o El Niño Oscilação Sul (ENSO), a variabilidade do gradiente inter-hemisférico da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico ou a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).

Esperamos que esse estudo possa ser utilizado como subsídio para um melhor planejamento urbano da cidade do Natal e que outros estudos possam vir a somar informações que contribuam para uma melhor caracterização das alterações climáticas da cidade, do estado do Rio Grande do Norte e do nordeste brasileiro.

Após a conclusão deste trabalho, temos como perspectiva futura a utilização de outros métodos (especialmente, através do uso de estações móveis e do sensoriamento remoto) buscando detectar modificações no microclima de Natal e a realização de um estudo comparativo a partir desse conjunto de dados, para que seja possível mapear esse microclima e suas mudanças com mais detalhes. Nessa perspectiva, buscaremos realizar novas medidas em bairros como Alecrim e Petrópolis.

Referências

ALEXANDRE, M. J. O.; GARCÍA, F. F.; NUNES, E. Las oscilaciones climáticas en la atmosfera urbana de la ciudad de Natal, Brasil através de las series largas de temperaturas del aire. **Holos**, Natal, ano 29, v. 5, out. 2013.

CESTARO, L. A. **Fragmentos de florestas Atlânticas no Estado do Rio Grande do Norte: relações estruturais florísticas e fitogeográficas**. 2002. 149 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

CUNHA, E. M. S. **Evolución actual del litoral de Natal RN (Brasil) y sus aplicaciones a la Gestión Integrada**. 2004. 393 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) - Universitat de Barcelona, Barcelona, 2004.

DOUGLAS, E. M.; VOGEL, R. M.; KROLL, C. N. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. **Journal of Hydrology**, v. 240, p. 90-105, 2000.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 248.

NUNES, Elias. **O meio ambiente da Grande Natal**. 2 ed. Natal: Imagem Gráfica, 2009.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, p. 1-24, 1982.

SANTOS E SILVA, C.M.; SILVA, F.R.; LEME, N.P. Ciclo anual de precipitação como função de índices de instabilidade termodinâmica e fluxos de energia estática: análises

em Maxaranguape-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n.2, p. 235 - 242, 2011.

SANTOS, K. P. C.; CUNHA, A. C.; COSTA, A. C. L.; SOUZA, E. B. Índices de tendências climáticas associados à “ilha de calor” em Macapá-AP (1968-2010). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, mar. 2012.

SOUZA D.O; ALVALÁ R.C.S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**, São Paulo, 2012.

VIDAL, R. D. Influência da morfologia urbana nas alterações da temperatura do ar na cidade de Natal (RN). In: **Encontro de Professores de Conforto Ambiental: Anais**. João Pessoa: 1992.

Capítulo 4

Semeadura da soja sob influência do El Niño e da fase positiva do Modo Meridional do Atlântico, na região MATOPIBA, Brasil²

Layara Campelo dos Reis; Maria Helena Constantino Spyrides;
Bergson Guedes Bezerra; Cláudio Moisés Santos e Silva

² Esse capítulo faz parte da Tese de Doutorado da primeira autora, desenvolvida no PPGCC/UFRN

1. Introdução

A soja tem grande importância econômica, visto que é utilizada na fabricação de sub-produtos com potencial proteico cada vez mais requerido pela indústria alimentícia (humana e animal) mundial, além disso, demandada em outros segmentos como produção de biocombustíveis e matéria-prima para diversas indústrias (Castanheira et al. 2015). O Brasil ocupa a segunda posição mundial em produção e a primeira em exportação de soja, respondendo por 32,4% da produção mundial, com quase 115 milhões de toneladas, na safra de 2018/19 segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019a). Além disso, a soja é a principal cultura em extensão de área e volume de produção, representando aproximadamente 48% dos 240,65 milhões de toneladas de grãos produzidos em 2019 no Brasil (Conab, 2019b).

Diante desse quadro de expansão, destaca-se a região que abrange parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA), considerada uma das principais fronteiras para novos investimentos do agronegócio no Brasil (Araújo et al., 2019). No ano agrícola de 2018/19 a região representou cerca de 11% da produção nacional de grãos de soja, correspondendo a 13,3 milhões de toneladas (Conab, 2019a).

Entretanto, quando se trata do cultivo dessa cultura, as análises dos riscos sobre todo o processo produtivo tornam-se uma questão extremamente importante, uma vez que essa atividade é altamente vulnerável a oscilações nos seus rendimentos, com consequentes impactos negativos para a sociedade de modo geral (Assad et al., 2013). Dentre a avaliação desses riscos, o conhecimento sobre o efeito climático é de grande relevância, visto que o clima e as anomalias climáticas são responsáveis pelas variações na produtividade em diversas regiões do mundo (Liang et al., 2017).

A interação da precipitação, radiação solar, temperatura do ar com parâmetros genótipos (genótipo-ambiente) são de grande importância para a determinação da condição ideal para o cultivo da soja, tendo em vista que a produtividade é controlada por essas interações (Pierozan Junior et al., 2017). A determinação da melhor época de semeadura é crucial para um bom desempenho da produtividade, pois determina as condições meteorológicas que o cultivo enfrentará (Heinemann et al., 2016), principalmente quando efeitos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e do Modo Meridional do Atlântico (MMA) são considerados (Blain et al., 2009; Nóia Júnior e Sentelhas, 2019), nitidamente por apresentarem variações na precipitação e temperatura do ar que afetam o desenvolvimento da cultura.

Estudos apontam que o ENOS é o fenômeno de grande escala responsável por grandes perdas na produtividade agrícola em diversas regiões do mundo (Liang et al., 2017), provocadas por alternados quadros de precipitação, em função de suas fases: quente-negativa (El Niño) e fria-positiva (La Niña). Sob condições de El Niño tem-se uma probabilidade maior de ocorrência de secas nos estados das regiões Norte e Nordeste do Brasil, abrangendo a região MATOPIBA (Moura et al., 2019). Além disso, as variações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical modulam a migração norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que também desempenham um papel importante na ocorrência de precipitação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Timmermann et al., 2018).

Diante disso, os modelos de simulação de culturas são ferramentas importantíssimas para o estudo da influência de fatores climáticos e outros fatores ambientais sobre o desenvolvimento e rendimento de uma cultura, podendo prever fenômenos, avaliar cenários, avaliar as melhores datas de semeadura e indicar opções de manejo e pesquisa por meio de extrapolações de resultados experimentais no espaço e no tempo (Battisti e Sentelhas, 2014), como proposto por diversos estudos no Brasil para a soja (Teixeira et al., 2019). A avaliação das melhores épocas de semeadura, realizadas pelo modelo, é umas das práticas de manejo com maior significância para a formulação de estratégias que visem o aumento da produtividade (Bornhofen et al., 2015).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo determinar, com base na variabilidade espaço-temporal da produtividade, as melhores janelas de semeadura da soja sob a influência do El Niño e da fase positiva do Modo Meridional do Atlântico na região MATOPIBA.

2. Material e Método

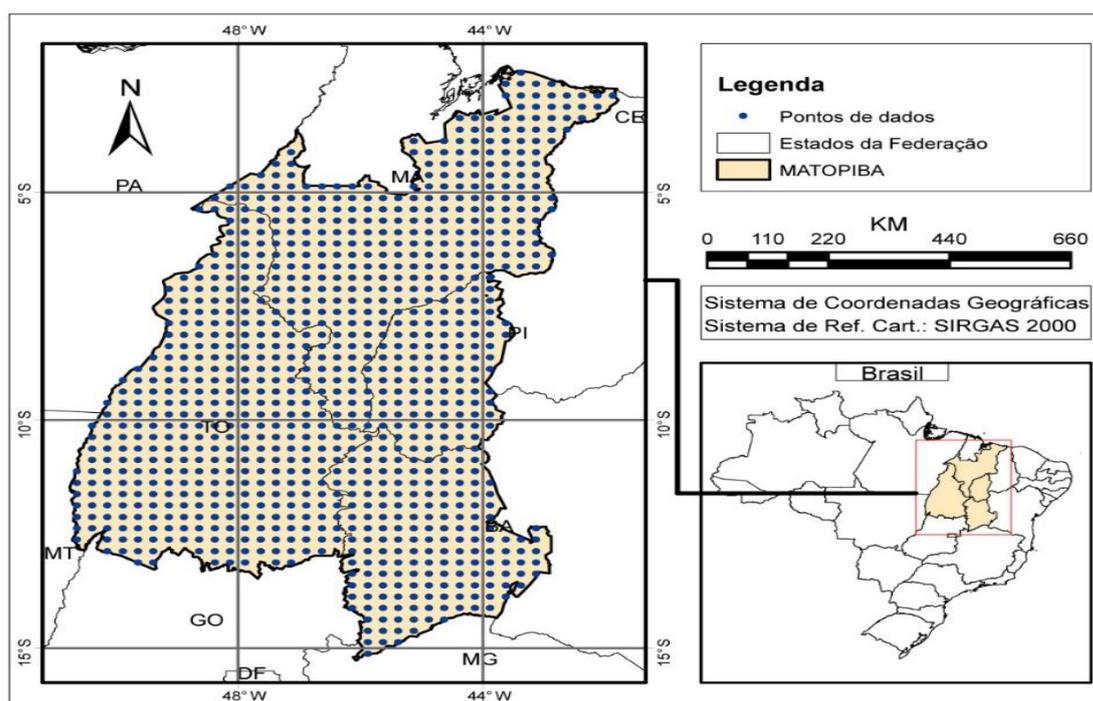
2.1. Área de estudo

A região MATOPIBA é localizada entre a região Amazônica e o Semiárido Brasileiro, abrangendo a região Norte e Nordeste do Brasil. Sua área total é de quase 74 milhões de ha e abrange grande parte dos estados do Maranhão (33%), Tocantins (38%), porção sudoeste do Piauí (11%) e noroeste da Bahia (18%) (Miranda et al., 2014) (Figura 1).

O clima do MATOPIBA é tropical úmido com inverno seco (Aw), de acordo com a classificação de Köppen (1948), com temperaturas médias mensais que variam de 25 a

27°C e precipitação média anual entre 800 a 2.000 mm, distribuída em duas estações bem definidas: a estação seca, que estende de Maio à Setembro, e a estação chuvosa, de Outubro à Abril (Alvares et al., 2014). A vegetação predominante na região é o bioma Cerrado, que abrange 91% da área. O solo predominante na região engloba a classe do Latossolo (L), mais precisamente os Latossolos Amarelos (Magalhães e Miranda, 2014).

Figura 1. Localização do MATOPIBA em relação ao Brasil (Figura menor, canto inferior direito) e distribuição espacial dos pontos de dados referentes às variáveis meteorológicas (Figura maior, lado esquerdo).



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

2.2. Dados

2.2.1. Meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram os valores diários da radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), precipitação (mm), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), do período de 1980 a 2013 e disponível em uma grade horizontal de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ (Xavier et al., 2016) (Figura 1), disponível no site <https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>. Esses dados foram utilizados para a simulação da produtividade atingível da soja, através do modelo CROPGRO-Soybean do sistema DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).

Esse conjunto de dados destacou-se anteriormente quando utilizado na simulação da produtividade da soja no Brasil para condições de sequeiro, como mostra o estudo de Battisti e Sentelhas (2019) e validado como apresentado no estudo de Battisti et al. (2018). Além disso, esse banco de dados foi utilizado em estudos climatológicos anteriores na região Nordeste do Brasil (p.e., da Silva et al., 2019).

2.2.2. Solos

Para o processo de simulação foram utilizadas as propriedades física, química e hídrica do Latossolo Amarelo classe de solo predominante na região MATOPIBA. Os perfis do solo foram construídos com dados obtidos da plataforma WISE (*World Inventory of Soil Emission Potentials*) do *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC - <https://www.isric.org/>). Estes já foram validados e adotados em estudos anteriores (Vianna e Sentelhas, 2014).

2.2.3. Cultura

A calibração do modelo DSSAT/ CROPGRO-Soybean, para simulação da produtividade atingível da cultura da soja foi feita por Battisti et al. (2017a), que obtiveram erro quadrático médio - RMSEs de 226 a 650 kg ha⁻¹ para a estimação da produtividade da soja sob condições brasileiras. O modelo CROPGRO-Soybean também foi calibrado validado outros estudos (p.e., Battisti et al., 2019).

A cultivar selecionada pertence ao Grupo de Maturidade Relativa 8.5 (GMR 8.5), considerado o grupo de maturação mais indicado para cultivo na região, com base nas recomendações de Battisti et al. (2017a) e Nóia Júnior e Sentelhas (2019). A escolha também considerou que o GMR da cultivar é recomendado para o MATOPIBA, tendo como base a latitude da região, conforme estudos anteriores (Sentelhas et al., 2017).

2.3 Métodos

2.3.1 Cenário meteorológicos

A determinação das melhores datas de semeadura da soja, considerando a produtividade atingível, foi analisada sob influência das condições de El Niño aliado com a fase positiva do Modo Meridional do Atlântico. Neste cenário há uma chance maior de secas intensas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, conforme definido por Souza et al. (2005); Pezzi e Cavalcanti (2001); Kayano et al. (2011, 2012). Os anos resultantes dessas configurações foram definidos de acordo com o estudo de Mutti et al. (2019). Além disso,

comparou-se a produtividade estimada desse cenário com os anos Neutros, a fim de verificar a influência dos efeitos climáticas de larga escala sobre o rendimento da soja.

2.2.4. Modelo de simulação de cultura

As simulações do desenvolvimento da soja foram realizadas usando o modelo CROPGRO-Soybean, do sistema DSSAT (Jones et al., 2003), v4.7. Este é um modelo mecanístico inserido na série de modelos CSM-CROPGRO, elaborado para simulações de leguminosas. O modelo tem sido amplamente utilizado em várias regiões do globo (Boote et al., 2003).

O funcionamento do modelo CROPGRO-Soybean se dá por meio da entrada de informações essenciais, como: i) dados sobre a localização (latitude, longitude e elevação); ii) dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura máxima e mínima e radiação solar) para o período em que se pretende obter as simulações; iv) propriedades física, química e hídrica do solo (Tabela 1), dados da cultivar (Tabela 2) e; v) informações sobre o manejo da cultura (área de plantio e datas de semeadura)

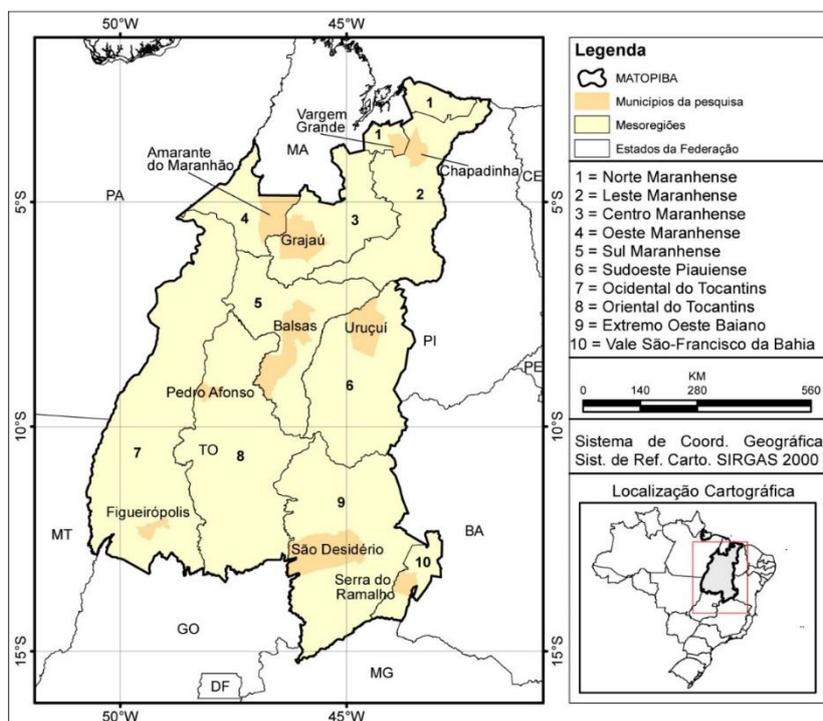
O processamento dos dados meteorológicos foi realizado por meio do software *WeatherMan*, que faz parte da plataforma DSSAT. A produtividade atingível da soja foi simulada para as estações de cultivo do período de 1980 a 2013, em função de 9 datas de semeadura (1 de Outubro a 21 de Dezembro, com intervalo de 10 dias) para 10 localidades distribuídas entre as 10 mesorregiões do MATOPIBA, conforme a Figura 2.

As simulações resultaram em um ciclo médio de cultivo de aproximadamente 125 dias. A escolha do período de semeadura levou em consideração o início da estação chuvosa na região, além disso, são datas recomendadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2018). Nas simulações, adotou-se um espaçamento de linha de 0,45m e uma população de 28 plantas por m², conforme recomendado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2011) e adotado anteriormente no estudo de Battisti e Sentelhas (2019). Para o início da simulação, foi considerado o teor inicial de água disponível no solo anterior a 30 dias a partir da data da semeadura, proporcionando ao modelo uma maior confiabilidade, visto que nestes intervalos poderia ter ocorrido algum evento de precipitação que influenciaria na umidade do solo.

A produtividade atingível foi utilizada visto que a maior parte da soja da região é cultivada sob a condição de sequeiro, no qual a produtividade é controlada pelo déficit hídrico. Considerou-se que esses 10 locais amostrais são suficientes para analisar o comportamento da produção de soja sob as diferentes características ambientais da região.

O melhor período de semeadura foi determinado pelo método descrito por Nóia Junior e Sentelhas (2019), no qual a janela favorável para a semeadura ocorre quando a produtividade estimada para cada ano agrícola é superior à produtividade média em pelo menos 60% dos anos.

Figura 2. Localidades distribuídas entre as 10 mesorregiões do MATOPIBA utilizadas para a simulação da produtividade atingível da soja



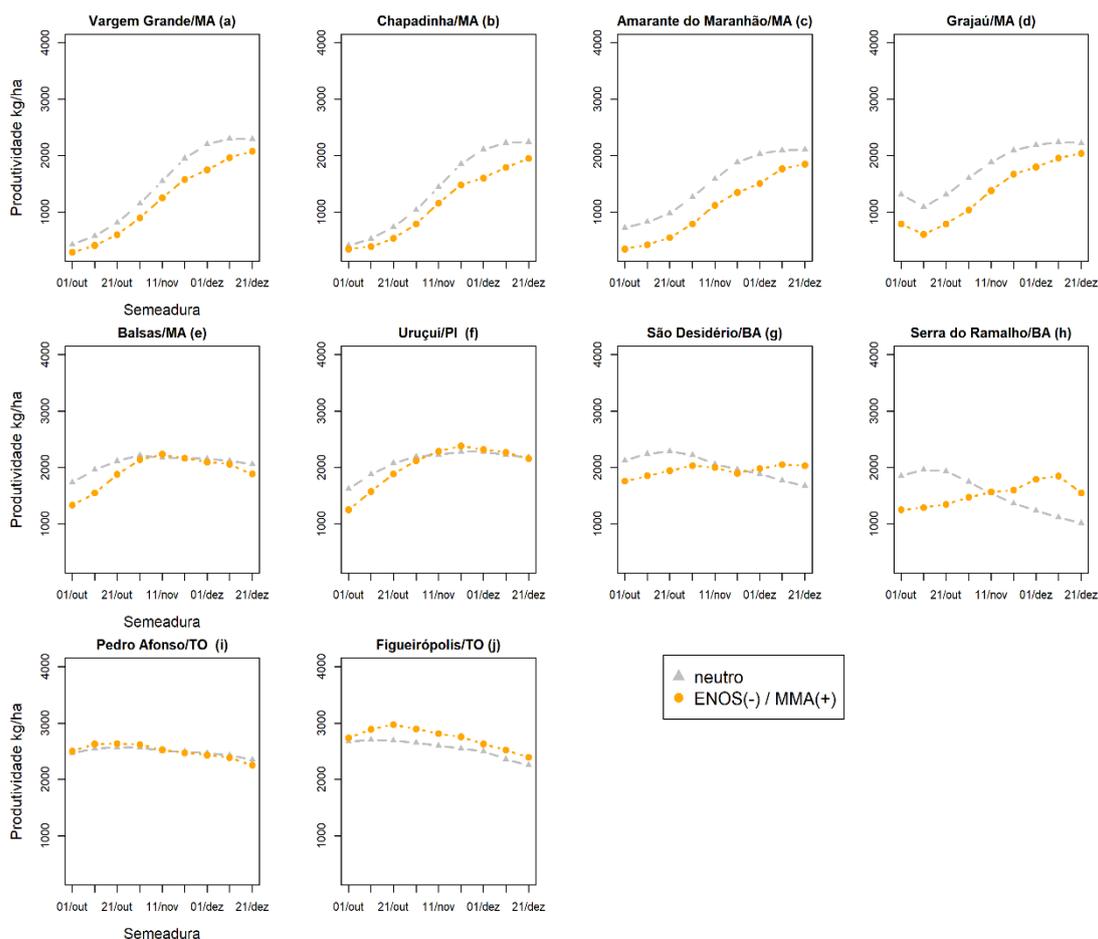
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3. Resultados e discussão

Considerando o comportamento da produtividade nas 9 janelas de semeadura (Figura 3), quatro padrões distintos foram observados entre os locais. O primeiro abrange os municípios de Vargem Grande, Chapadinha, Amarante do Maranhão e Grajaú, localizados no estado do Maranhão, na porção norte da região do MATOPIBA; o segundo compreende os municípios de Balsas (MA) e Uruçuí (PI), cobrindo a parte centro-leste do MATOPIBA; o terceiro abrange áreas dos municípios de São Desidério e Serra do Ramalho, ambos na Bahia, compreendendo a porção sudeste da região da MATOPIBA; e a quarta abrange os municípios de Pedro Afonso e Figueirópolis, ambos localizados no estado do Tocantins, compreendendo a parte centro-oeste de MATOPIBA. Entre esses

grupos, notou-se que os maiores rendimentos foram registrados na região centro-oeste da região MATOPIBA, e por outro lado, as médias mais baixas foram verificadas na parte norte da região.

Figura 3. Produtividade média atingível da soja, simulada pelo modelo DSSAT/CROPGRO-Soybean, para diferentes datas e locais de plantio no MATOPIBA, considerando o cenário do ENOS (-) combinado com MMA (+) e as condições Neutras.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Notou-se, por meio da comparação entre os cenários, que a porção norte do MATOPIBA (Figura 3a, b, c e d) pode ser considerada a região mais vulnerável entre as analisadas, evidenciada pelas notáveis perdas de rendimento em todas as datas de semeadura. Nessa área, sob influência do ENOS(-)/MMA(+), a quantidade máxima de soja produzida foi obtida com a semeadura realizada na janela de 01/Dez a 21/Dez para as localidades de Vargem Grande (MA) e Chapadinha (MA) e de 11/Dez a 21/Dez para Amarante do Maranhão (MA) e Grajaú (MA), conforme Tabela 3.

Deve-se notar que a redução da produtividade da soja no cenário meteorológico analisado pode ser agravada pela redução das taxas de chuva e pelo aumento da temperatura do ar (Li et al., 2013; Marengo e Bernasconi, 2015; Marengo et al., 2018). A severidade das secas é mais acentuada quando a fase quente do ENOS está associada à ocorrência de anomalias positivas da TSM no Atlântico (Souza et al., 2005; Timmermann et al. 2018). As secas meteorológicas podem ser devastadoras para o cultivo da soja, sendo potencializadas pela combinação de baixa pluviosidade e temperaturas mais altas, prejudicando a fisiologia das plantas (Farias et al., 2007; Nóia Júnior et al., 2018) e impactando a umidade do solo devido ao aumento da evapotranspiração das culturas (Zhu e Troy, 2018).

Em relação à região centro-leste do MATOPIBA verificou-se que a melhor janela para a semeadura é de 01/Nov a 21/Nov, como mostra a Tabela 3 para as localidades de Balsas (MA) e Uruçuí (PI). No entanto, constatou-se que a janela favorável para a semeadura é mais curta no cenário analisado - ENOS(-)/MMA(+) com relação aos anos Neutros, conforme Figura 3e e f.

Na região sudeste do MATOPIBA (Figura 3g e h), as melhores datas de semeadura, considerando o cenário analisado, foi de 01/Dez a 21/Dez e 01/Dez a 11/Dez para as localidades de São Desidério (BA) e Serra do Ramalho (BA), respectivamente (Tabela 3). Constatou-se, ainda, que nessa área o cenário ENOS(-)/MMA(+), considerado por diversos estudos por apresentar maior probabilidade de ocorrência de secas, mostrou ganhos na produtividade da soja com relação aos anos Neutros (Figuras: 13g e h). Isso indica que, durante os eventos de El Niño aliado com anomalias positivas do Atlântico, a quantidade de soja produzida poderá atingir valores máximos a partir da escolha da melhor data de semeadura. Estes resultados estão em conformidade com o estudo de Nóia Júnior e Sentelhas (2019), onde mostram que os riscos no rendimento da soja podem ser reduzidos escolhendo a melhor janela de semeadura, durante as fases do ENOS.

Em relação à porção centro-oeste do MATOPIBA (Figura 3i e j), os resultados indicaram que os efeitos dos mecanismos de larga escala sobre a produtividade da soja não são claramente percebidos, quando comparou-se com o cenário Neutro. Nesta região, a janela favorável para a semeadura é longa, com baixa variabilidade da produtividade da soja nas 9 datas de semeadura. Para a localidade de Pedro Afonso (TO) a janela favorável varia de 11/Out a 1/Dez e para Figueirópolis (TO) de 1/Out a 1/Dez, conforme Tabela 3. Isso mostra que a variabilidade climática em larga escala, apresentada pelo cenário

estudado, não leva necessariamente anomalias negativas às condições meteorológicas nessa região e, conseqüentemente, não compromete a produtividade atingível da soja.

Tabela 3. Melhores janelas de semeadura (em destaque) para a produtividade de soja (kg/ha) em diferentes locais do MATOPIBA sob influência do ENOS (-) combinado com MMA (+).

		Janelas de semeadura								
		1 out	11 out	21 out	1 nov	11 nov	21 nov	1 dez	11 dez	21 dez
Localidades	Vargem Grande (MA)	289	407	602	895	1254	1575	1745	1965	2079
	Chapadinha (MA)	344	389	534	787	1159	1484	1605	1791	1950
	Amarante do Maranhão (MA)	347	422	548	789	1123	1348	1508	1768	1849
	Grajaú (MA)	793	605	793	1040	1381	1670	1797	1954	2040
	Balsas (MA)	1333	1549	1879	2138	2234	2164	2099	2057	1885
	Uruçuí (PI)	1251	1577	1886	2123	2287	2385	2321	2268	2162
	São Desidério (BA)	1759	1854	1946	2032	1999	1898	1984	2051	2036
	Serra do Ramalho (BA)	1250	1290	1348	1476	1569	1600	1793	1849	1553
	Pedro Afonso (TO)	2505	2629	2637	2616	2527	2470	2431	2386	2257
	Figueirópolis (TO)	2736	2892	2970	2896	2814	2754	2629	2519	2397

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4. Conclusões

Os efeitos climáticos associados pela ocorrência da fase quente do ENOS em conjunto com as anomalias positivas da TSM no Atlântico sobre a produtividade da soja, na região MATOPIBA, podem ser minimizados escolhendo a melhor janela de semeadura. As épocas favoráveis para a semeadura variaram de acordo com a localização, sendo que a maior janela foi verificada na porção centro-oeste da região, mais precisamente nas localidades de Pedro Afonso e Figueirópolis no estado do Tocantins,

mostrando que os efeitos das condições climáticas analisadas foram quase imperceptíveis, uma vez que as variações no comportamento da produtividade são pequenas em todas as datas de semeadura. Além disso, na porção sudeste da região, o ajuste na data de semeadura possibilitada uma maior eficiência na produtividade, em comparação com as condições normais.

Referências

Alvares, C.A. et al. Köppens climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22(6), p. 711–728, 2014.

Araújo, M.L.S. et al. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990-2015). **Land Use Policy**., v. 80, p. 57-67, 2019.

Assad, E.D. et al. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 1-8, 2013.

Battisti, R. et al. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, 2018. <https://doi.org/10.1007/s42106-018-0016-0>.

Battisti, R., Sentelhas, P.C. New agroclimatic approach for soybean dates recommendation: a case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1149–1156, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1149-1156>.

Blain, G. C. et al. Possible influences of pacific decadal oscillation in the ten day based ratio between actual and potential evapotranspiration in the region of Campinas, São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 68, p. 797–805, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000300029>.

Boote, K.J. et al. Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model: link to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, 95, p. 32–51, 2003.

Bornhofen, E. et al. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 46-55, 2015

Castanheira, E.G. et al. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 188-201, 2015.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2018/19 - Oitavo Levantamento, p. 1-135, 2019a. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento, Safra 2019/2020, ISSN: 2318-3241, v. 7, Brasília, 2019b. https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/28825_2ed3fc3b5b25a350206d276620cf1c85. Acesso em: 18 de nov. 2019.

da Silva, P.E. et al. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. **International Journal of Climatology**. p. 1-17, 2019.

Farias, J.R.B. et al. Ecofisiologia da soja. Londrina, Embrapa Soja, p. 10, 2007. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

Heinemann, A.B. et al. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 225, p. 57–74, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.010>.

Liang, X.Z. et al. Determining climate effects on US total agricultural productivity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, p. E2285–E2292, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615922114>.

Magalhães, L.A, Miranda, E.E. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota técnica 5. EMBRAPA. Available at: Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE), 2014. https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT5_Matopiba_Quadro_Natural.pdf (Acesso em: 20 Jun. 2018).

Moura, M.M. et al. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**. 651, p. 1639-1651, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>.

Nóia Junior, R.D.S., Sentelhas, P.C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. **Agricultural Systems**, v. 173, p. 254–267, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.012>.

Nóia Júnior, R.S. et al. Ecophysiology of C3 and C4 plants in terms of responses to extreme soil temperatures. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 7, 2018 <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0120-7>.

Souza, E.B. et al. Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, p. 177–191, 2005.

Teixeira, W.W.R. et al. Uncertainty assessment of soya bean yield gaps using DSSAT-CSM-CROPGRO-Soybean calibrated by cultivar maturity groups. **Journal of Agronomy and Crop Science**, p. 1–12, 2019. <https://doi.org/10.1111/jac.12343>.

Timmermann, A. et al. El Niño – Southern Oscillation complexity. **Nature Springer US** v. 559, p. 535–545, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0252-6>.

Vianna, M.S., Sentelhas, P.C. Simulação do risco de deficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49, p. 237-246, 2014.

Xavier, A.C. et al. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, 36, p. 2644–2659, 2016.

Capítulo 5

Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste do Brasil³

Pollyanne Evangelista da Silva; Maria Helena Constantino Spyrides; Lára de Melo Barbosa Andrade; Marcos Samuel Matias Ribeiro; Cláudio Moisés Santos e Silva

Resumo Na região Nordeste do Brasil (NEB), os eventos climáticos extremos, como chuvas torrenciais (precipitação em excesso) e secas severas, se alternam numa ampla distribuição espaço-temporal. E a ocorrência de tais eventos podem afetar a qualidade e acesso à água que, por sua vez, podem ocasionar impactos sociais, econômicos e demográficos, podendo inclusive afetar a qualidade de vida em termos de saúde da população. Assim, o presente estudo objetiva analisar as tendências de indicadores de extremos climáticos relacionados à temperatura do ar e precipitação no NEB. Os resultados revelaram possíveis mudanças climáticas local para determinados locais do NEB, sendo as maiores mudanças para os índices de temperatura. Observou-se que 32 mesorregiões indicam aumento para os índices TXx (valor mensal máximo de temperatura máxima diária), seguido do índice TX90p (dias quentes), com 30 mesorregiões. Em relação aos índices de precipitação para o NEB, observou-se que houve mudanças em 12 ou mais mesorregiões, principalmente para os índices CDD (dias consecutivos secos) e R95p (dias úmidos). A região do NEB apresenta as maiores reduções para os índices de precipitação e o maior aumento para a temperatura e dias e noites quentes. Ainda de acordo com os resultados, dos 11 índices selecionados de acordo com as características do NEB, foi possível observar que a mesorregião com os maiores indícios de mudanças climáticas trata-se do Sertão e Agreste Sergipano com ocorrência 8 índices significativos. No entanto, há um somatório de fatores como o desmatamento, mau uso do solo, dentre outros, que devem ser considerados e que podem estar trazendo implicações no clima local destas regiões em estudo.

Palavras-chave: Climindex; precipitação intensa; seca; temperatura.

³ Este capítulo é parte da Tese de Doutorado da primeira autora, desenvolvida no PPGCC/UFRN

1. Introdução

Os eventos extremos de tempo e clima têm atraído muito a atenção de pesquisadores devido aos seus potenciais impactos na vida humana, economia, condições sociais e ecossistemas naturais (Jiang et al., 2011). Esses extremos são aspectos integrantes da variabilidade climática e sua frequência, duração, extensão espacial e intensidade podem variar de acordo com as possíveis mudanças do clima (Seneviratne et al., 2012).

A variabilidade climática e os extremos climáticos tornaram-se mais intensos e mais frequentes durante os últimos 50 anos na América do Sul. Os eventos extremos têm sido reportados, por meio das chuvas na Venezuela em 1999 e 2005; inundações nos Pampas da Argentina em 2000 e 2002; na seca da Amazônia em 2005, 2010 e 2016 no Nordeste do Brasil e São Paulo em 2014; além do furacão Katarina no Atlântico Sul em 2004 e a intensa chuva e inundações no sul do Brasil em 2008. Historicamente, a variabilidade climática e os eventos extremos tiveram impactos negativos na população, aumentando a morbidade nas áreas afetadas (Magrin et al., 2007).

No Brasil, o extremo climático como a seca ocasionado pelo déficit de precipitação é tratado com relevância devido aos eventos recorrentes, principalmente no NEB (Gutiérrez et al., 2014), pois é nesse ambiente que vive uma parte substancial da população brasileira. Com nove estados do país, uma parte importante do Nordeste localiza-se na porção semiárida do Brasil (NEB) correspondendo a 65% de sua área total. A distribuição de chuvas no NEB contempla áreas litorâneas com precipitação superior a 2.000 mm/ano, enquanto em partes do semiárido 300 mm/ano (Oliveira et al., 2014; Rao et al., 2015; Oliveira et al., 2017). Ao mesmo tempo, observam-se tendências de aumento dos índices climáticos associados a extremos de temperatura em boa parte do NEB (Silva et al., 2019) e a evapotranspiração também apresenta tendências de aumento em regiões de irrigação (Cabral Junior et al., 2019).

A variabilidade interanual nessa região apresenta grandes flutuações que são mais acentuadas no semiárido. Isso causa extremos climáticos caracterizados por secas severas ou enchentes com sérios efeitos econômicos e sociais para a população local (Tadeschi e Grimm, 2009; Liebmann et al., 2011), e esse efeito na variação da precipitação algumas vezes está relacionada à ocorrência de El Niño ou La Niña, (Polzin ; Hastenrath, 2014).

Dufek e Ambrizzi (2008) citaram em seus estudos que as mudanças no clima podem alterar a temperatura e que aumentem a variabilidade dos eventos de precipitação, os quais poderão causar inundações (Tadeschi & Grimm, 2009; Liebmann et al., 2011; Alves et al., 2013; Oliveira et al., 2013; Oliveira et al., 2016) e secas mais intensas e frequentes (Moura & Schukla, 1981; Hastenrath, 2012; Marengo, Torres & Alves, 2016). O semiárido é uma região com baixos valores pluviométricos e qualquer redução, em relação à média, pode provocar grandes impactos. Devido à ocupação humana e o uso da terra, tornou a região mais vulnerável.

A seca significa falta de água para a agricultura, para o consumo humano, para os animais domésticos e selvagens que podem trazer impactos econômicos (com a perda da safra agrícola e com a mortandade de animais), sociais (com o aumento do desemprego e a fome e, em casos extremos, com a morte de pessoas, que muitas vezes buscam migrar na esperança de encontrar lugares melhores) e ambientais (com a mortandade de animais silvestres, a exaustão de fontes de água, a degradação ambiental e a desertificação, especialmente onde antes houve interferência humana com o desmatamento para diversos fins) (De Nys et al., 2016).

Apesar dessa região ser conhecida por período de estiagens, Groisman et al. (2005) e Marengo et al. (2009) encontraram aumentos na precipitação intensa e aumentos na frequência de eventos de precipitação extrema. Os extremos de precipitação intensa no NEB foram mais observados no litoral norte, onde apresentaram maiores volumes e intensidades de chuvas na estação seca e chuvosa em relação ao litoral sul do Nordeste. A maior ocorrência desses eventos pode ser explicada pela concentração de umidade (Oliveira et al., 2013).

As modificações de temperatura e regime de chuvas podem trazer maior abundância e disseminação de vetores e patógenos, transmissão de doenças infecciosas, migração de pessoas e a problemas socioeconômicos. Dessa forma, o principal objetivo desse estudo é analisar as tendências dos índices de extremos climáticos para precipitação e temperatura no Nordeste do Brasil (NEB).

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

A região Nordeste do Brasil, em que pese sua localização, não apresenta uma distribuição de chuvas típicas das áreas equatoriais. Caracteriza-se, basicamente, por três

tipos climáticos, com a precipitação variando de 300 a 2.000 mm: clima litorâneo úmido caracterizado no litoral da Bahia ao do Rio Grande do Norte, tropical em áreas dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí e, por fim, o clima do semiárido que se localiza em todo o sertão nordestino (Barbosa; Correia, 2005).

A diversidade de clima no NEB é decorrente de um conjunto de fatores fisiográficos e de sistemas atmosféricos, como por exemplo a geografia, relevo, natureza da superfície e os sistemas de pressão atuantes na região (Silva et al., 2012). A região apresenta variabilidade interanual acentuada, particularmente na precipitação, a qual apresenta alguns anos extremamente secos, como também anos extremamente chuvosos (Cavalcanti, 2009). No NEB verifica-se desde o clima semiárido no interior da região, com precipitação média inferior a 500 mm/ano, até o clima tropical chuvoso, observado na costa leste da região com precipitação acumulada superior a 1.500 mm/ano e clima úmido no norte do Maranhão com precipitação superior a 2.000 mm/ano (Santos, 2006).

A variabilidade do clima da região do NEB é influenciada por alguns sistemas meteorológicos. Os principais são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os efeitos das brisas marítima e terrestre associadas a formação e propagação de Linhas de Instabilidade (LI), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), os Sistemas Frontais (SF) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sendo os dois últimos atuantes sobre o sul da Bahia. As brisas, por sua vez, são fortemente influenciadas por eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS), pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico Sul e Norte, pelos Ventos Alísios e pela Pressão ao Nível do Mar (PNM) (Kayano ; Andreoli, 2004).

2.2 Dados

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram disponibilizados por um projeto conjunto entre a Universidade do Texas (EUA) e Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). Os dados são de domínio público e disponível no site: <https://utexas.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>. A metodologia para a obtenção dessa base de dados é descrita por Xavier et al. (2015). São disponibilizadas as seguintes variáveis meteorológicas: precipitação, vento, temperatura mínima e máxima, umidade relativa e evapotranspiração. Estão dispostos em uma grade regular de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ e cobrem todo o território brasileiro. Entretanto, para a pesquisa, utilizamos dados sobre o nordeste do Brasil. A amostragem é diária e, no presente estudo, utilizaremos o período

de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2013. As fontes originais dos dados são do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE).

O cálculo dos índices extremos de temperatura do ar e precipitação foram obtidos a partir do software Climdex, um programa desenvolvido por (ZHANG & YANG, 2004). Seguiu-se a metodologia de (ZHANG et al., 2005a,b e HAYLOCK et al.,2006), aplicada a estudos locais que auxiliam no monitoramento e na detecção de mudanças climáticas, o qual é desenvolvido para a linguagem computacional R e está disponível gratuitamente para download no portal [http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/ software.shtml](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml).

Os dados meteorológicos foram usados a fim de se obter índices definidos conforme o software RClimdex. Ao todo são 27 índices de extremos climáticos, contudo, no presente estudo não foram usados 17 índices por não se enquadraram nos dados da Nordeste do Brasil e por apresentar similaridade com os itens selecionados. Dos 11 índices selecionados, 05 são relativos aos dados de temperatura e 06 aos dados de precipitação, conforme apresentados na Tabela 1.

O Climdex fornece algumas informações estatísticas para cada índice: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados, nível de significância estatística da tendência (valor p) obtido através do método de Fisher, utilizando o nível de significância 5% e 1%, coeficiente de determinação (R^2), erro padrão de estimativa e os gráficos das séries anuais (ZHANG & YANG, 2004).

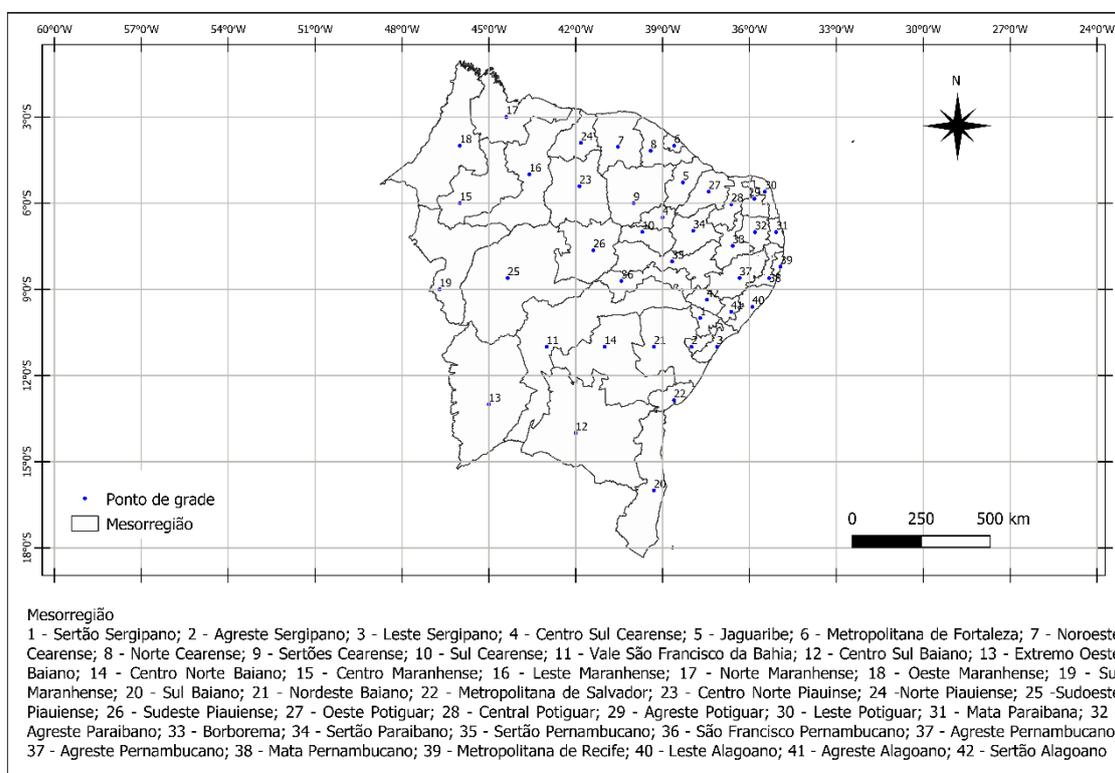
Tabela 1. Definições dos 11 índices de extremos climáticos do Climdex referentes à temperatura e à precipitação compreendidos no estudo

Índice	Definição	Unidade
TX_x	Valor mensal máximo de temperatura máxima diária	°C
TN_n	Valor mensal mínima de temperatura mínima diária	°C
TX90_p	Porcentagem de dias quando TX > 90 percentil (dias quentes)	%
TN90_p	Porcentagem de dias quando TX > 90 percentil (noites quentes)	%
DTR	Amplitude térmica diária: diferença média mensal entre TX e TN	°C
R10mm	Número de dias com precipitação \geq 10 mm	dias
RX5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dia consecutivos	mm

CDD	Número máximo de dias consecutivos com precipitação < 1 mm (dias consecutivos secos).	dias
CWD	Número máximo de dias úmidos consecutivos (nº de dias consecutivos em que a precipitação foi superior ou igual a 1mm)	dias
R95p	Precipitação anual que excedeu o percentil 95 no período de 1980 a 2013 (percentil: dias úmidos).	mm
PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos	mm

Posteriormente, determinaram-se os índices de extremos climáticos (Climdex) para 42 pontos de grade dos dados de Xavier et al. (2015) como apresentado na Figura 1 do NEB. Contudo, índices de extremos climatológicos possibilitam observar se houve alguma mudança climática nos últimos 30 anos nas mesorregiões de estudo, e foi selecionado um ponto de grade para representar cada mesorregião.

Figura 1. Localização das 42 (quarenta e duas) mesorregiões do Nordeste do Brasil (NEB)



3. Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta as mesorregiões significativas por índice de extremos climáticos de temperatura e precipitação para região Nordeste do Brasil. Desta forma, com os resultados revelam que as maiores mudanças ocorreram para os índices de temperatura, sendo 32 mesorregiões com detecção de tendências para os índices TXx, seguido do índice TX90p, com 30 mesorregiões e DTR com 21. No que se refere à precipitação, os índices de extremos climáticos mostraram que houve mudanças em 09 ou mais mesorregiões, para os índices R10mm, CDD, R95p e PRECPTOT. Apresentam-se nas Figuras 2 e 3, as tendências dos índices TXx, TNn, TX90p, TN90p, DTR, Rx5day, R10mm, CDD, CWD, R95p, e Precptot. Foram considerados no estudo as tendências estatisticamente significantes ao nível de significância de 1%, 5% e 10%. A análise detectou tendências climáticas no padrão de temperatura (Figura 2), em que é possível verificar tendência positivas a mudanças climáticas locais para o índice dos máximos valores das temperaturas máximas diárias (TXx) revelou um aumento para 32 mesorregiões estudadas (Figura 2) corroborando com o relatório do IPCC (2013) e Skansi et al. (2013). As maiores tendências foram observadas no Agreste Alagoano com 0,16°C, seguido das mesorregiões Sertão Sergipano com 0,14°C, Sertão Alagoano com 0,12°C e Leste Alagoano com 0,11°C.

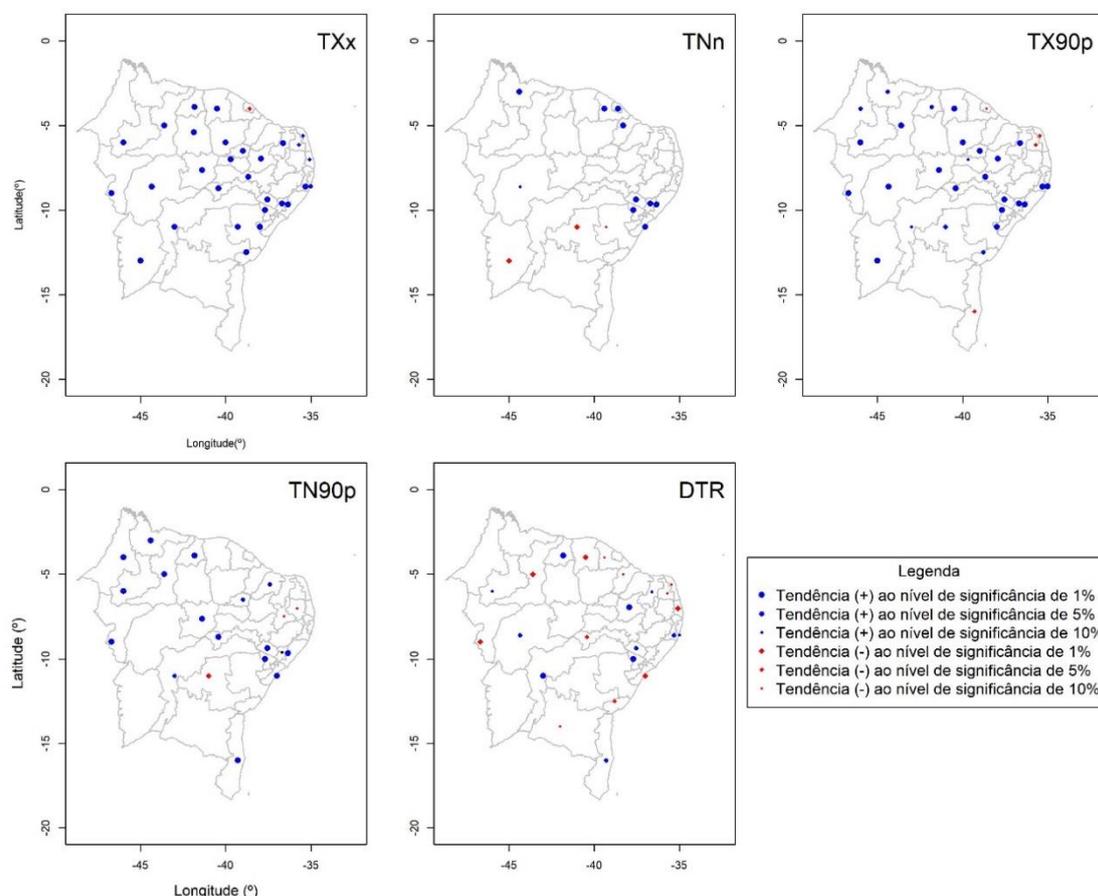
Tabela 2. Mesorregiões com tendências estatisticamente significativas aos extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação para Nordeste do Brasil, período de 1980 a 2013.

Índices (Temperatura do ar)	Mesorregião	Índices (Precipitação)	Mesorregião
TXx	32	RX5day	07
TNn	19	R10mm	09
TX90p	30	CDD	12
TN90p	21	CWD	06
DTR	24	R95p	12
		PRCPTOT	09

A distribuição espacial apresentada na Figura 2 para o índice TNn revela que a temperatura mínima está aumentando com maior relevância para Agreste Alagoano (0,11°C), e Leste Maranhense (0,08°C), Leste Sergipano (0,07°C) e Leste Alagoano (0,06°C). Por outro lado, mesorregiões como Norte do Amapá e Nordeste Baiano apresentam uma redução de -0,02°C, Centro Norte Baiano de -0,08°C e Extremo Oeste Baiano de -0,13°C.

Em relação aos dias quentes (TX90p), 30 mesorregiões revelaram aumentos, indicando maior porcentagem de dias com temperatura máxima acima do percentil 90, tendo a mesorregião Mata Pernambucana (1,18%) indicando tendência mais expressivas. Em 4 mesorregiões houve diminuição de dias quentes: Sul Baiano com -0,45%, Agreste e Leste Potiguar com -0,57% e -0,62% respectivamente, Fortaleza com -0,71% e Centro Norte Baiano com -0,93%. O índice extremo denominado por noites quentes (TN90p), o qual indica a porcentagem de dias com temperatura mínima acima do percentil 90, exhibe o aumento em 21 mesorregiões nas noites quentes com maior magnitude no Norte Maranhense com 1,16%, e uma diminuição para mesorregiões Centro Norte Baiano (-1,12%), Agreste Paraibano e Borborema (-0,64%). Para amplitude térmica observaram 24 índices com mudanças de variação, sendo que 12 mesorregiões apresentaram aumento e 12 mesorregiões uma diminuição como mostra a Figura 2 validando o estudo desenvolvido por Skansi et al. (2013) que apresenta o índice TN90p está aumentando na América do Sul.

Figura 2. Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos (TXx, TNn, TX90p, TN90p e DTR) baseados na temperatura diária para as mesorregiões do NEB, no período de 1980 a 2013.



Para os índices de precipitação foi possível observar para o índice de extremo climático máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos (RX5day), esse índice reflete a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas, e nota-se que mesorregião Centro Maranhense revelou o maior aumento na tendência para o índice máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos (RX5day) no valor de 3,11 mm/dia, seguido do Leste Potiguar com 2,24 mm/dia e uma maior diminuição para região Metropolitana de Salvador (-1,25 mm/dia) e Agreste Sergipano (-1.83 mm/dia), e este índice indica possibilidade de deslizamento. Dessa forma, os resultados são indicativos de que os eventos chuvosos tendem ocorrerem de forma descontinuada.

O índice R10mm exhibe uma redução no número de dias com precipitação ≥ 10 mm com destaque para as mesorregiões Agreste Sergipano (-0,57 dia/ano), metropolitana de Salvador (-0,44 dia/ano) apresentaram uma redução. Foram observadas tendências mais significantes de mudanças dos dias consecutivos secos (CDD) no Sul Cearense (1,49

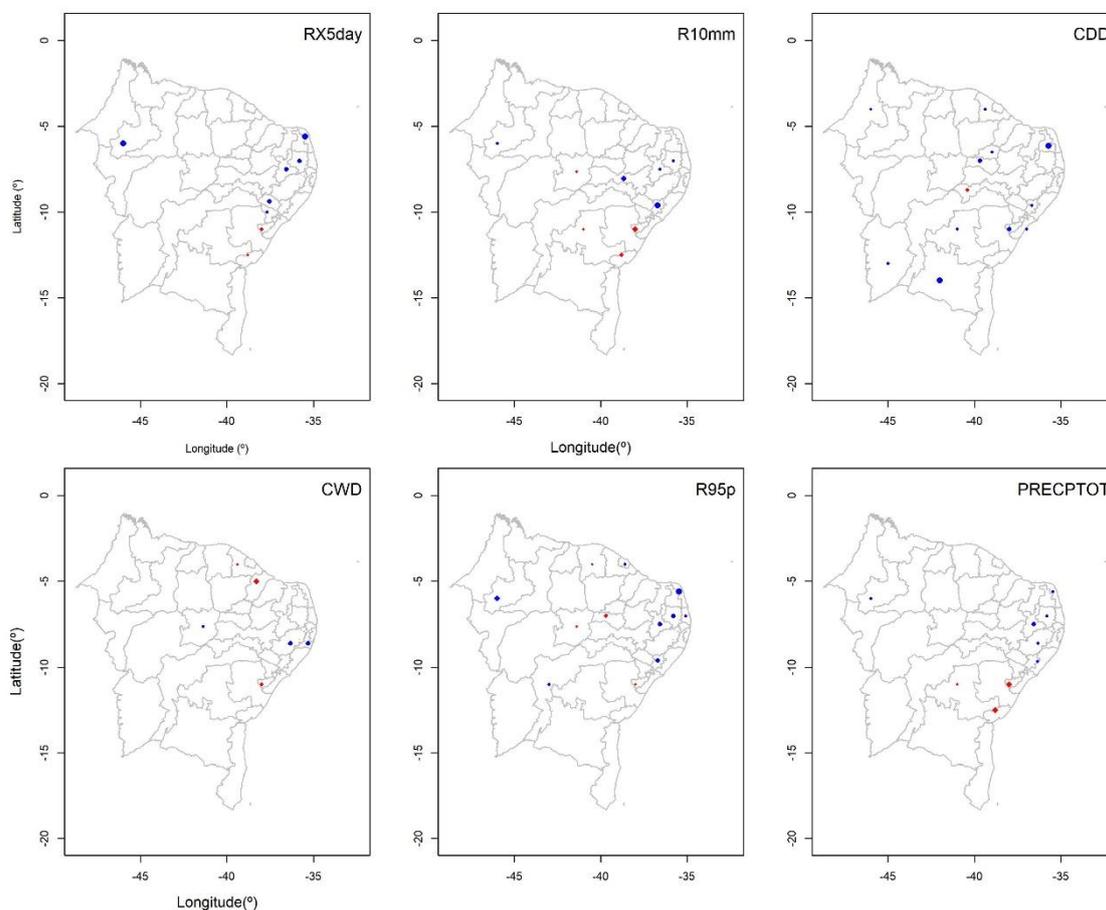
dias), Noroeste Cearense (1,26 dias), Centro Sul Cearense e Baiano (1,23 dias com tendências negativas mais expressivas, concordando com os resultados de Haylock et al. (2006) e Santos & Brito (2007). Portanto, observa-se que ocorreu um aumento no número de dias consecutivos secos e uma diminuição dos dias consecutivos com chuvas, resultando na evidencia de uma mudança local na precipitação.

Para o índice CWD nota-se que apenas 06 mesorregiões indicam mudanças significativas para o número de dias consecutivos chuvosos, o qual a mesorregião como Noroeste Cearense (-0,61 dias) revelou tendências negativas mais expressivas, ou seja, ocorrendo uma diminuição dos dias consecutivos com chuvas, como mostra a Figura 3, e um maior aumento para Mata Pernambucana com 0,57 dias aproximadamente.

Investigando o índice dias muito úmidos (R95p) observaram mudanças significativas para 12 mesorregiões no Nordeste brasileiro, como mostra a Figura 3, ocorrendo uma maior redução dos dias muitos úmidos em 5 mesorregiões com valores mais elevados para o Agreste Sergipano (-7,58mm) e Sul Cearense (-4,23mm) e maior aumento no Leste Potiguar, com 9,66 mm e Centro Maranhense com 9,10mm. A distribuição espacial das tendências (mm/ano) da precipitação total anual (Precptot), apresentada na Figura 3, revela que das 42 mesorregiões em estudo, 09 apresentaram mudanças, sendo aumento de precipitação anual com destaque para Centro Amazonense com 20mm validando o estudo desenvolvido por Skansi et al. (2013), e redução mais expressiva no NEB nas mesorregiões como Agreste Sergipano com -14,78mm e Metropolitana de Salvador com -13,64 mm e estudos como Santos et al. (2016) revela forte correlações negativas entre os índices R95p e Precptot com o Niño 4 indicado que anomalia positiva na Temperatura da superfície do mar (TSM) dessa região do Pacífico reduz os eventos de precipitação intensa e a precipitação total.

A configuração dos resultados da Figura 3 para o Nordeste brasileiro está de acordo com os estudos Santos & Brito (2007), que também observaram tendência de aumento na precipitação total anual. De uma maneira geral, os índices apontaram para um aumento dos dias úmidos, da precipitação total anual e dos dias consecutivos secos. Porém, isso não é uniforme para a região em estudo, pois observa-se variação espacial das tendências nesses índices, oscilando entre negativas e positivas, corroborando com os estudos de Santos et al. (2009).

Figura 3. Distribuição espacial das tendências dos índices de extremos climáticos (RX1day, RX5day, SDII, R10mm, R20mm, CDD, CWD, R95p, R99p e PRECPTOT) baseados na precipitação diária para as mesorregiões da AMZ e NEB, no período de 1980 a 2013.



4. Considerações finais

A discussão sobre as alterações no clima tem levado os pesquisadores a estudar os extremos de tempo e clima. Os resultados mostraram que há evidências de mudanças climáticas local para determinados locais do NEB. De acordo com os resultados as maiores mudanças ocorreram para os índices de temperatura.

Para 32 mesorregiões evidencia-se aumento para os índices temperatura máxima (TXx), seguido de dias quentes (TX90p), com 30 mesorregiões. No que se refere à precipitação do NEB, os índices de extremos climáticos, os resultados mostram que houve mudanças em 12 ou mais mesorregiões, para os índices de dias consecutivos secos (CDD) e dias úmidos (R95p). No geral, o NEB apresenta as maiores reduções para os índices de

precipitação e o maior aumento para a temperatura e dias e noites quentes. Dos 11 índices selecionados de acordo com as características do NEB, foi possível observar que a mesorregião com os maiores indícios de mudanças climáticas trata-se do Sertão e Agreste Sergipano com ocorrência 8 índices significativos, seguido do Centro Maranhense e Agreste Alagoano.

Analisando os índices de extremos climáticos referente à precipitação o Sertão e Agreste Sergipano indicam as maiores mudanças locais. Segundo Rocha (2017), Sergipe é um estado que pertence ao NEB e vem sofrendo com a seca desde 2010, considerada a mais severa registrada das últimas décadas e os índices de temperatura do Climdex mostraram aumento para temperaturas máximas e mínimas, em contrapartida, os índices de precipitação RX5day e CDD apresentaram tendências positivas indicado o aumento da precipitação máxima em 1 dia, em 5 dias consecutivos, dias consecutivos secos e em dias úmidos.

Referências

- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, IF de A. Histórico de secas na Amazônia. BORMA, LS; NOBRE, CA Secas na Amazônia: causas e consequências. São Paulo: Oficina de Textos, p. 21-27, 2013.
- BARBOSA, T. F.; CORREIA, M. F. Sistemas convectivos intensos no semi-árido brasileiro: O controle da grande escala. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 3, p. 395-410, 2005.
- CAVALCANTI, I. F.A. Tempo e clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F.A; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F.; JUSTI, M.G.A. (Orgs). Oficina de textos, 2009.
- DA SILVA, Pollyanne Evangelista et al. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. International Journal of Climatology, v. 39, n. 2, p. 579-595, 2019.
- DE LOS MILAGROS SKANSI, María et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. Global and Planetary Change, v. 100, p. 295-307, 2013.
- DE NYS, Erwin; ENGLE, Nathan; MAGALHÃES, Antonio Rocha (Ed.). Drought in Brazil: proactive management and policy. CRC Press, 2016.

- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, n. 3-4, p. 167-178, 2008.
- JÚNIOR, Jório Bezerra Cabral et al. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 138, n. 1-2, p. 215-225, 2019.
- GUTIÉRREZ, Ana Paula A. et al. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, v. 3, p. 95-106, 2014.
- GRIMM, Alice M.; TEDESCHI, Renata G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.
- GROISMAN, Pavel Ya et al. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of climate*, v. 18, n. 9, p. 1326-1350, 2005.
- HASTENRATH, Stefan. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, v. 112, n. 2, p. 243-251, 2012.
- JIANG, Dejuan et al. Variability of extreme summer precipitation over Circum-Bohai-Sea region during 1961–2008. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 104, n. 3-4, p. 501-509, 2011.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. *Climate Change 2013: a base da ciência física*. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BIX, V. & MIDGLEY, P.M. (Orgs). 2013. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- LIEBMANN, Brant et al. Mechanisms associated with large daily rainfall events in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v. 24, n. 2, p. 376-396, 2011.
- KAYANO, Mary Toshie; ANDREOLI, Rita Valéria. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 109, n. C11, 2004.
- MAGRIN, G. et al. "Latin America". *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p. 581-615, 2007.

MARENGO, Jose A. et al. Climate change, extreme weather and climate events in Brazil. Rio de Janeiro, FBDS, 2009.

MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

OLIVEIRA, P.T.; SANTOS e Silva, C.M. & LIMA, K.C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, 15:172-177.

OLIVEIRA, P.T.; SILVA, C.S. & LIMA, K.C. 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2): 77-90.

POLZIN, Dierk; HASTENRATH, Stefan. Climate of Brazil's nordeste and tropical atlantic sector: preferred time scales of variability. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 2, p. 153-160, 2014.

DOS SANTOS, CARLOS ANTONIO COSTA; DE BRITO, JOSÉ IVALDO BARBOSA. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, Carlos Antonio Costa dos et al. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SENEVIRATNE, Sonia et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. 2012.

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

ZHANG, Xuebin; YANG, Feng. RCLimDex (1.0) user manual. Climate Research Branch Environment Canada, v. 22, 2004.

ZHANG, Xuebin et al. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *Journal of Climate*, v. 18, n. 11, p. 1641-1651, 2005.

Capítulo 6

Perfis de vulnerabilidade do semiárido brasileiro à luz das características sociais, demográficas, dos padrões de precipitação e da produção agrícola⁴

Izabelly Cristina Mendes Tinoco; Lara Melo Barbosa de Andrade;
Paulo Sergio Lucio; Bergson Guedes Bezerra;
Cláudio Moisés Santos e Silva

Resumo: A região semiárido brasileira é caracterizada por apresentar elevada variabilidade espaço temporal da precipitação, predominantemente concentrada em quatro meses específicos do ano. Ademais, a atividade agrícola é considerada como sendo uma das principais bases da economia regional, sendo predominantemente marcada pela agricultura de sequeiro a qual é fortemente dependente das ocorrências das chuvas. Nesse sentido, as estiagens prologadas vivenciadas pela região torna a agricultura familiar uma atividade econômica de grande risco. Assim, o principal objetivo do estudo é construir uma tipologia de vulnerabilidade agrícola municipal da região semiárida do Brasil, utilizando-se a ferramenta do *Grade of Membership* (GoM), considerando características climáticas, sociais, econômicas, demográficas e agrícolas. Os dados utilizados foram os provenientes do Sistema de Recuperação automática do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e no Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro para o período de 1978 à 2016. Sobre a dimensão climática, utilizou-se a precipitação acumulada anual, tomando-se em conta regiões pluviometricamente homogêneas estabelecidas por Tinoco et al. (2018), o qual identificou quatro regiões com precipitação homogêneas, identificadas como SAB I, SAB II, SAB III e SAB IV. Três perfis de vulnerabilidade foram identificados. O Perfil I agrega os municípios situados na região do SAB I, que é aquele mais chuvoso, congrega municípios que se caracterizam com os menores percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário e as melhores condições sociais, infraestrutura e desenvolvimento. O Perfil II contempla os municípios localizados nas regiões SAB II e SAB III, que são consideradas as mais secas. Agrega municípios com os piores indicadores de condição social e menor produção

⁴ Este capítulo é parte da Tese de Doutorado da primeira autora, desenvolvido no PPGCC/UFRN

agrícola, bem como se caracteriza por baixa condição sanitária e detém a maior parcela da população ocupada na agricultura familiar. O Perfil III é composto por municípios localizados à região SAB IV, considerada a segunda região mais chuvosa. Este perfil caracteriza-se por apresentar condições sociais e agrícolas em situações consideradas intermediárias, e encontram-se produtividades agrícolas medianas de feijão e milho. Diante dos resultados conclui-se que os municípios do Perfil II, localizados nas regiões do SAB II e do SAB III, são as mais vulneráveis as alterações climáticas, pois são as mais secas e sujeitas a ocorrências de secas severas, solos muito pobres e têm suas respectivas economias baseadas na agricultura familiar. Para essas regiões, segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, são projetados diminuição da precipitação em até 20% e aumento da temperatura em até 2°C até o final do século, o que torná-la mais árida.

Palavras-chave: Variabilidade Climática, Vulnerabilidade Agrícola, Vulnerabilidade Climática, GoM

1. Introdução

O Semiárido Brasileiro (SAB) é uma das regiões semiáridas mais chuvosa do mundo, embora seus padrões de precipitação sejam altamente variáveis no tempo e no espaço (RAO *et al.*, 1993; ALVES *et al.*, 2005; MALVEZZI, 2007). A precipitação anual do SAB atinge em média 800 mm, com regimes de precipitação na parte Norte sendo as maiores precipitações de março-maio de 310,14 mm; e na parte Sul as maiores precipitações ocorrem de Dezembro – Fevereiro com 389,42 mm (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Hastenrath (2012) afirmam que a precipitação na região do SAB é caracterizada pela elevada irregularidade interanual, quase sempre alternando anos normais e anos chuvosos com longas secas extremas.

Ademais, na região semiárida do Brasil os eventos extremos têm ocorrido de forma mais intensa e prolongada gerando transtornos nos processos sociais e econômicos de determinadas regiões (MARENGO *et al.*, 2011). E apesar da região ser constantemente assolada por eventos extremos de secas, a ocorrência de grandes enchentes não é rara (MARENGO, 2006).

O Relatório do Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) projeta um aumento de 0.5° a 1.0° C na temperatura do ar e uma diminuição entre 10% e 20% nas na precipitação no SAB durante as próximas três décadas (2020 a 2040). Além disso, espera-se que a temperatura aumente gradualmente de 1.5 a 2.5 °C no período de 2041-2070, enquanto as taxas de precipitação deverão diminuir em 25% e 35% no mesmo período. Essas projeções sugerem que até o final do século 21 o SAB será consideravelmente mais árido, com a ocorrência de secas mais longas e déficit hídrico mais severo (MARENGO; BERNASCONI, 2015).

A economia do SAB é fortemente baseada na agricultura familiar, predominantemente em condições não irrigadas, o que corresponde a aproximadamente 80% da força de trabalho total. Devido à alta variabilidade espacial e anual de chuvas, a agricultura familiar se torna uma atividade de alto risco, com grandes perdas durante longos períodos de estiagem.

Há que se considerar que a região do semiárido Brasileiro (SAB) congrega 23 milhões de habitantes e 1,6 milhão de estabelecimentos agropecuários, com cerca de 95% desses estabelecimentos tendo como a principal atividade econômica a agricultura familiar. E esta atividade é fortemente dependente da precipitação, haja vista que a maior parte da produção agrícola advinda da atividade da agricultura familiar é em regime de

sequeiro, com destaque a culturas de subsistência como milho, feijão e mandioca, dentre outras (Albiero et al., 2015; Nasuti et al., 2013).

Tendo em consideração os cenários futuros do clima para região, supõe-se que a atividade da agricultura familiar, amplamente praticada no SAB, estará severamente comprometida, tornando-a ainda mais vulnerável, haja vista que tal atividade é fortemente dependente da precipitação e que a maior parte da produção agrícola advinda da atividade da agricultura familiar é em regime de sequeiro, com destaque a culturas de subsistência como milho, feijão e mandioca, dentre outras (SILVA *et al.*, 1998; NASUTI *et al.*, 2013; ALBIERO *et al.*, 2015;:).

Marengo *et al.* (2017) apontam que a produtividade agrícola associada a uma forte dependência de chuvas torna a atividade agrícola uma das mais vulneráveis às secas, especialmente a porção norte do estado da Bahia, por causa das lavouras temporárias de milho e feijão. A economia na região SAB é baseada principalmente na agricultura de sequeiro, de tal sorte que a chuva desempenha um papel fundamental no sucesso da colheita (GRAEF; HAIGIS, 2001; ALBIERO *et al.*, 2015).

Assim, os agricultores familiares tornam-se o grupo social mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas (GUANZIROLI *et al.*, 2012). Assad e Pinto (2008) destacaram que com as mudanças climáticas haverá o aumento da evapotranspiração devido à deficiência hídrica no solo aumentando o risco para as atividades agrícolas, provocando redução drástica no número de municípios com potencial agrícola nos anos de 2020, 2050 e 2070, prejudicando a segurança alimentar das populações que vivem nessa região.

Ademais, vários estudos apontam que a região do SAB detém os piores indicadores de renda, saúde, educação e desenvolvimento do Brasil, quando comparados com a média nacional e esse quadro poderá piorar com as mudanças no clima (Queiroz, Barbieri e Confalonieri, 2017). As características sociais, econômicas, culturais, geofísicas e meteorológicas são o que definem a maneira de se enfrentar os fenômenos de extremos climáticos na região (EMDADHAQUE; BRANCO, 1998).

A população agrícola é vulnerável aos riscos climáticos e se a mesma não possui a capacidade de dar resposta frente ao perigo, como consequência pode gerar uma situação de vulnerabilidade, ou seja, se a capacidade adaptativa da população é baixa, provavelmente terá vulnerabilidade alta (WEHBE *et al.*, 2005). No semiárido o manejo inadequado do solo conjuntamente com as variações climáticas locais e as características de solo pedregoso ou impermeável geram a perda gradual do solo. E, além das

fragilidades ambientais, o semiárido sofre com a desigualdade social, além de deter os piores indicadores sociais em relação a média nacional (SILVA, 2003).

Os fenômenos socioeconômicos e culturais influenciam na intensidade e magnitude do impacto gerado pelas secas, assim como na capacidade adaptativa da população frente ao perigo (Emdadhaque & Branco, 1998). Assim, a incapacidade dos indivíduos ou grupos de enfrentar os riscos existentes no seu entorno pode ser entendida como vulnerabilidade (Padoin & Virgolim, 2010). No contexto climático a vulnerabilidade é definida como “conjunto de características de uma pessoa ou grupo que determina a sua capacidade de antecipar, sobreviver, resistir e recuperar-se dos impactos dos fatores climáticos de perigo” (Blaikie et al., 1994). É considerada como função da exposição, a qual está relacionada com a natureza, magnitude e frequência resultante da dinâmica climática; da sensibilidade, que representa o grau em que um sistema é modificado ou afetado por perturbações (Adger, 2006); da adaptação que descreve ajustes em sistemas ecológicos ou socioeconômicos em resposta às mudanças climáticas, resultantes de práticas, processos, medidas ou mudanças estruturais (Nobre, 2007).

Assim, o principal objetivo do estudo é mensurar e construir perfis da vulnerabilidade municipal da região do Semiárido do Brasil, levando-se em conta um conjunto de indicadores agrícolas, sociais e demográficos, além de considerar a dimensão climática considerando diferentes regiões pluviometricamente homogêneas na região estabelecidas por Tinoco *et al.* (2018).

2. Material e métodos

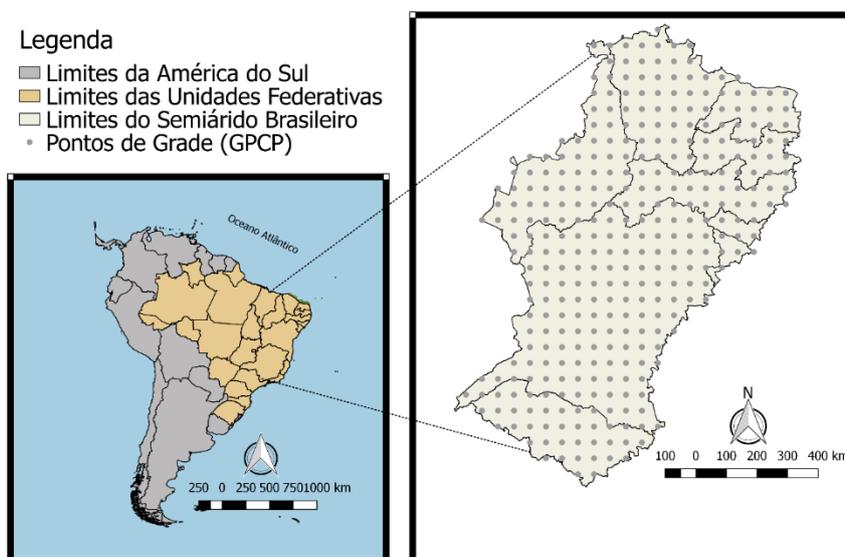
2.1 Área de estudo

A região estudada é a região do Semiárido Brasileiro (SAB), a qual abrange uma área de 982.563,3 km², o que equivale a aproximadamente 10% da área territorial do Brasil e 89,5% da região Nordeste do Brasil. De acordo com a síntese de indicadores sociais (2017) divulgada pelo IBGE 7,9% da população concentrada na região Nordeste recebe R\$ 85,00/mês per capita considerados extremamente pobres. A região do SAB é composta por 1135 municípios de oito estados da região Nordeste do Brasil (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), além do norte do estado de Minas Gerais na região Sudeste (Figura 1) (MIN, 2005). A delimitação dessa região em foi realizada pelo Ministério da Interação Nacional (MIN, 2005) e teve como

critérios a isoietas de 800 mm, o índice de aridez inferior a 0,50 ou risco de seca superior a 60%.

O SAB é a região semiárida mais chuvosa do mundo, com precipitações que variam em torno de 800 mm com maiores concentrações nos meses de fevereiro-maio, temperatura média superior à 23°C e evapotranspiração potencial superior a 2.000 mm/ano (MARENGO et al., 2011).

Figura 1. Localização da região do Semiárido Brasileiro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

2.2 Dados

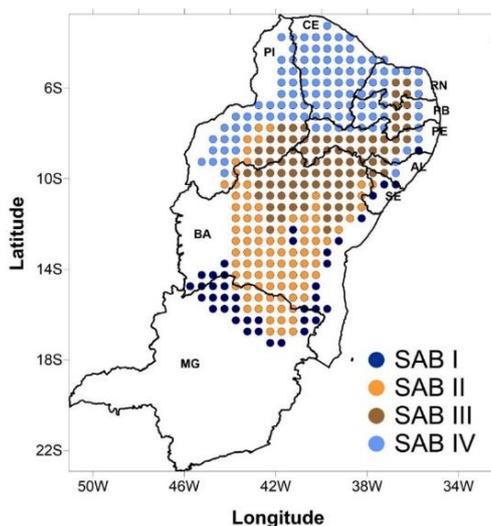
Neste estudo, as variáveis utilizadas foram organizadas em três dimensões de vulnerabilidade: risco, sensibilidade e capacidade adaptativa (Figura 2). Nesse sentido, foram selecionadas previamente variáveis de acordo com as componentes da vulnerabilidade. Atribuindo-se às dimensões climáticas como indicador de risco. Os índices de pobreza, condição de vida e infraestrutura domiciliar foram atribuídos à componente de susceptibilidade, com objetivo de observar o quanto susceptíveis são essas regiões quanto às características climáticas. E a componente capacidade adaptativa foi constituída por variáveis que expressam desenvolvimento do município, o que conseqüentemente torna a sociedade que nela vive com melhores condições para enfrentar um risco meteorológico frente à questão agrícola.

Sobre a dimensão climática, utilizou-se a precipitação acumulada anual, tomando-se em conta regiões pluviometricamente homogêneas estabelecidas por Tinoco et al.

(2018) que com o intuito de estabelecer uma caracterização da precipitação pluviométrica do SAB utilizou dados de precipitação mensal acumulada, no período de 1979 a 2014. Tais dados de precipitação (mm dia-1) provenientes do Global Precipitation Climatology Project (GPCP), detalhadamente descrito em Chen et al. (2008). Os dados utilizados possuem cobertura espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (espaçamento equivalente à 25 km), totalizando 338 pontos de grade, sendo que cada ponto contempla a série temporal de 36 anos em dados diários.

Assim, esse estudo considerou o trabalho desenvolvido por Tinoco et al. (2018) que categorizou a região em estudo (Semiárido do Brasil – SAB) em quatro regiões homoclimáticas, sendo: SAB I, SAB II, SAB III e SAB IV. Sendo que a precipitação média anual para a região intitulada de SAB I foi de 956 mm, com chuva na temporada de outubro a março. A região denominada SAB II registrou uma precipitação média 748 mm e a região SAB II apresentou uma precipitação média de 570 mm. A região intitulada SAB IV, que contempla o setor norte do semiárido brasileiro, é a segunda região mais chuvosa apresentando um total anual médio de 820 mm, tem uma estação chuvosa de dezembro intensificando até abril, as maiores médias de precipitação neste setor é em fevereiro seguinte até maio, corroborando com uma análise climática do SAB região que pode ser vista em Marengo et al. (2011).

Figura 2. Distribuição espacial das áreas pluviometricamente homogêneas, 1979-2014



Fonte: Tinoco et al (2018).

Sobre a dimensão social, de condição de vida e infraestrutura domiciliar e de Desenvolvimento (Grau de urbanização, IDH e PIB), as informações coletadas para esses

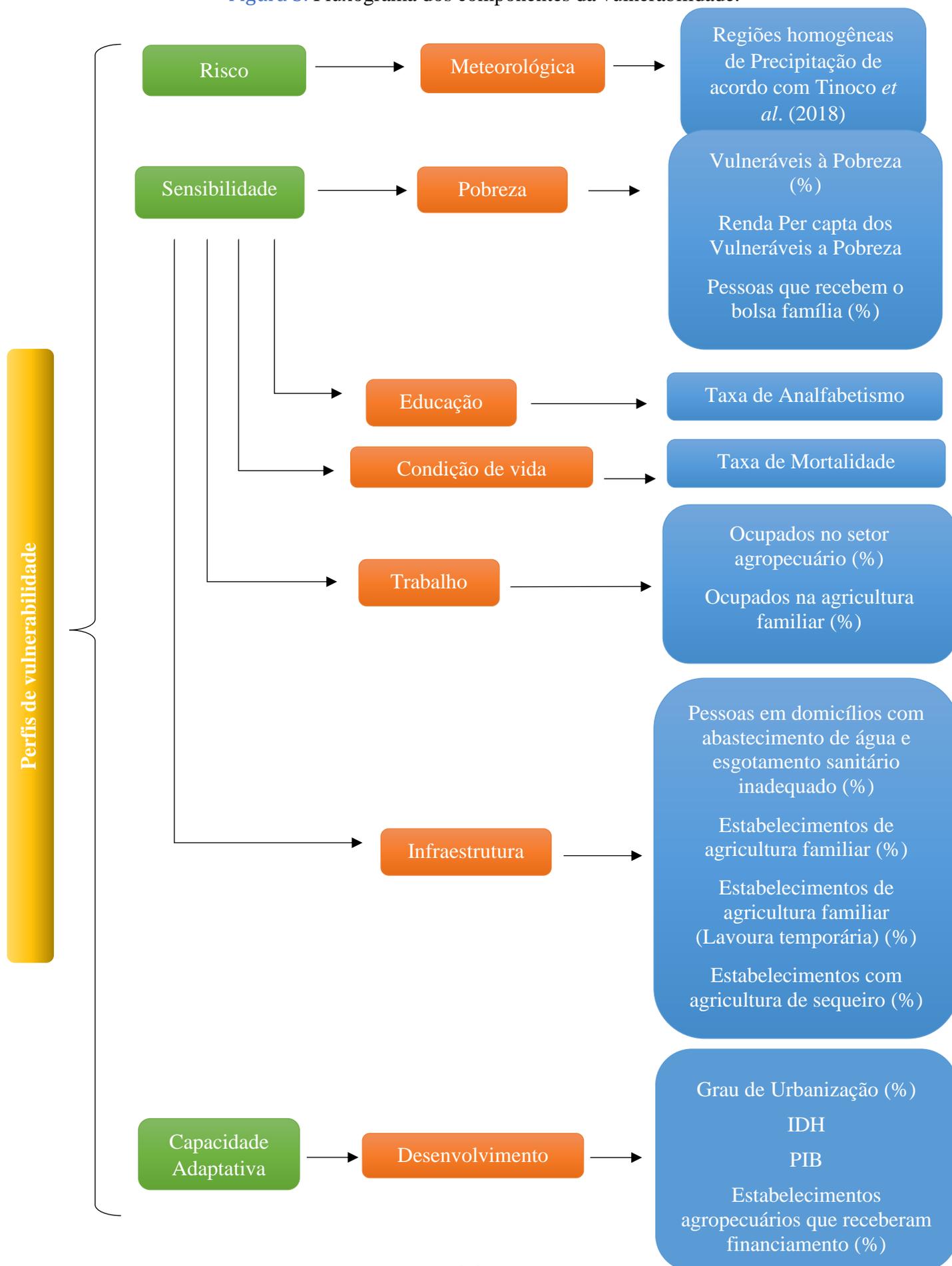
grupos de variáveis nos sites do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o censo de 2010, foram categorizadas de acordo com seus quartis de referência, sendo assim: Os valores que estivessem abaixo do primeiro quartil receberam a categoria 1; valores entre o primeiro quartil e a mediana ficaram na categoria 2; valores entre a mediana e o terceiro quartil foram classificados na categoria 3 e por fim, os valores superiores ao terceiro quartil receberam a categoria 4. Sendo os quartis classificados em Baixo (1), Médio (2), Alto (3) e Muito Alto (4).

As informações para as variáveis referentes à ocupação na agricultura familiar e aos estabelecimentos agropecuários são oriundas do Censo Agropecuário de 2006, no site do IBGE. Em relação às produtividades das culturas, consideradas de subsistência (agricultura familiar) milho, feijão e mandioca; as informações são oriundas do Sistema IBGE de informação integrada (SIDRA) entre os anos de 1978 à 2016; Para a utilização desses dados foram calculadas as médias de cada cultivo em relação a todos os anos.

Para a construção da tipologia proposta no estudo, consideraram-se as onze variáveis descritas na Figura 3 e para classificá-las utilizou-se a metodologia das separatrizes, a fim de realizar a categorização para cada um dos parâmetros em análise. As variáveis de capacidade adaptativa foram consideradas em seu complementar, ou seja, o percentual da população em condições inadequadas. Para isso, categorizou-se cada uma das variáveis em quatro níveis obtidos através dos quartis.

As variáveis utilizadas para a caracterização dos perfis de vulnerabilidade foram distribuídas de acordo as dimensões que compõem a vulnerabilidade:

Figura 3. Fluxograma dos componentes da vulnerabilidade.



No momento seguinte aplicou-se a técnica de *Grade of Membership* (GoM) para a criação de perfis de vulnerabilidade a partir de um amplo conjunto de indicadores relativos aos aspectos meteorológicos (grupos homogêneos de precipitação gerados inicialmente), sociodemográficos e agrícolas.

O método GoM foi aplicado com o objetivo de criar os perfis de vulnerabilidade, baseado na teoria dos conjuntos nebulosos (Fuzzy Logic) a qual consiste que os indivíduos (no caso municípios) não se organizam em conjuntos fixos (como na Análise de Cluster), mas podem pertencer parcialmente a múltiplos conjuntos ou perfis com diferentes graus de pertinência, nos perfis de referência (puros) oriundos da estrutura de dados (GUEDES et al., 2010). O método trabalha com as características de cada município, definindo perfis puros (com aqueles municípios que pertencem integralmente ao perfil) e estima o grau de pertencimento de cada município a cada perfil puro baseado no modelo estatístico de máxima verossimilhança:

$$L(y) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J \prod_{l=1}^{L_j} \left(\sum_{k=1}^K g_{ik} * \lambda_{kjl} \right)^{y_{ijl}}$$

Sendo:

i = Município; j = Variáveis; l = Categorias das variáveis j ; k = Perfis; y_{ijl} = É a resposta 0=não; 1= sim, à categoria l da variável j ; λ_{kjl} = Probabilidade que uma resposta l de uma variável j pertencer ao perfil k ; g_{ik} = Grau de pertinência de um município i ao perfil k .

Neste estudo, para cada município i , J variáveis categóricas são observadas, na qual a j -ésima variável tem L_j níveis de resposta. Considere K como o número de perfis puros. A probabilidade de que a l -ésima categoria de resposta da j -ésima variável esteja associada ao k -ésimo perfil puro é representada por λ_{kjl} . O grau de pertencimento g_{ik} de cada município i em relação a cada perfil puro k varia entre 0 e 1, o qual 0 indica que o município não pertence ao grupo de municípios do perfil k e 1 o município pertence completamente ao perfil de referência k (GUEDES et al., 2010).

A condição para o delineamento das características que definem os perfis, como regra de decisão é que a estimativa dos λ_{kjl} fossem suficientemente maiores que as

frequências marginais dos resultados de uma categoria de resposta l a uma variável j. Assim, foi definido o valor de 1,2 para caracterizar os perfis, considerando-se como regra decisória se a estimativa de λ_{kjl} fosse 1,2 vezes maior do que a respectiva frequência marginal.

Na definição dos perfis considerou-se que um município pertence a um determinado perfil puro se: $g_{ik} \geq 0,75$, para um determinado k. Também foram considerados predominantes a um perfil k se $0,5 \leq g_{ik} < 0,75$ e $g_{ik} < 0,25$ para os demais k's. No contexto de perfis mistos, o município é considerado com predominância se $0,5 \leq g_{ik} < 0,75$ para o valor de k com as características principais e $0,25 \leq g_{ik} < 0,5$ para o valor de k em características secundárias e $g_{ik} < 0,25$ para os demais valores de k's (SAWYER et al., 2000). Os municípios que os g_{ik} foram inferiores a 0,5, considerou-se como sem definição e/ou “amorfos” (CERQUEIRA, 2004).

Na estimação do modelo GoM, considerando modelos distintos com K perfis extremos multidimensionais de vulnerabilidade aos aspectos de clima, sociodemográficos e produção agrícola, aplicou-se o Critério de Informação de Akaike (AIC) para se definir o modelo mais ajustado. O AIC é uma medida baseada em teoria da informação estatística e comparando os modelos GoM com o uso dessa medida, utiliza-se sempre o modelo com K perfis extremos que apresentar o menor valor para o AIC. Dessa forma, o AIC indica um melhor ajuste e uma maior parcimônia quanto ao número de perfis estimados (PINTO; CAETANO, 2013).

3. Resultados e discussão

A Tabela 3 mostra a análise na definição do número de perfis puros a serem utilizados para delineamento das características entre os perfis. Utilizou-se o critério de Informação Akaike – AIC para definir o melhor modelo ajustado, a medida de ajuste de comparação dos modelos GoM é sugerida em Guedes et al. (2010) e Pinto e Caetano (2013). Neste sentido, o melhor modelo a ser utilizado é com k=3 perfis, pois é o modelo que possui o menor AIC (menor distância entre os dados).

Tabela 3. Valores de Critério de informação Akaike – AIC por número de perfis extremos da vulnerabilidade municipal do SAB - 2010

<i>K</i>	<i>P</i>	<i>ln(L)</i>	<i>AIC</i>
2	-36257,69	-22751,77	50315,55
3	-33125,22	-21034,55	49287,09
4	-29581,99	-20115,38	49854,76
5	-29838,39	-19626,96	51283,92
6	-28223,12	-19097,72	52631,44

De acordo com a Tabela 4, o Perfil Puro I agrega os municípios situados na região do SAB I, que é aquele mais chuvoso, cuja média anual da precipitação acumulada é da ordem 1.000 mm e abrange a parte sudeste e a parte sul do Semiárido Brasileiro, predominantemente o Norte de Minas Gerais e o Sul da Bahia. Este perfil congrega os municípios com os mais baixos percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário (<35%). Destes, a maioria (~68%) praticam agricultura familiar e considerado aquela com os baixos percentual de financiamento agrícola (<9%). Ainda foi observado que nesse Perfil que há baixos percentuais de estabelecimentos que praticam a agricultura de sequeiro.

Provavelmente, com a implementação de programas de linhas de crédito como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) gerenciado pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), fortaleceram a capacidade adaptativa populacional desta região e, conseqüentemente, reduz a vulnerabilidade sociodemográfica e agrícola, contribuindo para o processo adaptativo da agricultura familiar às mudanças climáticas (LINDOSO et al., 2011). Entretanto, Lindoso et al. (2011) relata que as linhas de crédito disponibilizadas pelos programas federais podem dar efeito contrário, com o endividamento o que pode aumentar a vulnerabilidade sociodemográfica, em vez de reduzir, por isso devem ser bem aplicadas. A aquisição das linhas crédito não ocorre de maneira homogênea, e existem diferenças regionais na capacidade dos produtores em adquirir o financiamento, ou seja, algumas regiões se beneficiam mais que outras, como por exemplo a região Sul detém 38% dos recursos, enquanto o Nordeste contempla apenas 25%. A capacidade de adaptação conforme Lobell et al. (2011), é o fator que pode minimizar os impactos gerados das mudanças climáticas em termos da produção de alimentos. Seo (2011) afirmam que a irrigação é

uma das medidas adaptativas mais importantes que podem minimizar os efeitos às mudanças climáticas.

A estação chuvosa nesta região é iniciada em outubro intensificando-se em novembro com redução em março (maiores detalhes podem ser vistos em Tinoco et al. (2018). A precipitação desta região, de acordo com Cavalcanti et al. (2012), é influenciada pela atuação da ZCAS. De acordo com o CEPEA (2017) esta região destaca-se com a produção de café, a qual não é considerada cultura de subsistência.

O baixo percentual de pessoas ocupadas no setor agrícola (35%) provavelmente está associado ao processo de industrialização ocorrido nos últimos anos na região. Santos e Silva (2011) relatam que o processo de industrialização ocorreu devido aos incentivos governamentais, principalmente oriundos da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). Ainda de acordo com Santos e Silva (2011) a influência da intensificação das atividades industriais na região pode ser percebida com o aumento da população urbana. Por outro lado, de acordo com Pereira (2007) o aumento da população urbana na região também se deve à implementação da modernização dos sistemas de produção agrícola. Dentre as mudanças oriundas dessa modernização foi a implementação de agricultura irrigada o que engatilhou o processo de migração dos trabalhadores rurais para os centros urbanos. Atualmente, a economia da região concentra-se no setor de serviços (~70%) (AMM, 2016).

Este Perfil também é caracterizado pela maior proporção da população residente em áreas urbanas com grau de urbanização superior a 65% (conforme comentado anteriormente) e detém as menores taxas de analfabetismo (<23,8%) e menores percentuais da população considerada vulnerável a pobreza (<61,2%). Em relação aos indicadores de desenvolvimento (Renda Per capita dos vulneráveis a pobreza, IDH e PIB) estes são considerados muito altos. Com relação às condições sanitárias são consideradas boas com percentual de domicílios com esgotamento inadequado baixo (< 8,4%). Em relação às condições sociais têm-se baixas taxas de mortalidade e de pessoas que recebem Bolsa Família. De modo geral, os municípios conjugados a este perfil detêm as melhores condições socioeconômicas e infraestrutura. A grande concentração da população em áreas urbanas é proveniente da dinâmica econômica da região, com investimentos industriais e o setor terciário diversificado (PEREIRA e SOARES, 2005). De acordo com as características gerais delineadas neste Perfil, agregando o SAB I que é o grupo com as maiores precipitações da região Semiárida, com os menores percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário e as melhores condições sociais, infraestrutura e

desenvolvimento este perfil foi intitulado SAB I, Baixo % ocupados agropecuária e com melhores condições sociais

De acordo com a Tabela 4, o Perfil Puro II contempla os municípios localizados nas regiões SAB II e SAB III, que são consideradas as mais secas, cuja média anual da precipitação acumulada é da ordem 800 e 600 mm, respectivamente. Abrange grande parte do Estado da Bahia, leste do Piauí, seguindo para oeste de Pernambuco e Alagoas e a parte central da Paraíba e Rio Grande do Norte (Tinoco et al., 2018). De acordo com Cavalcanti (2012) as precipitações nas regiões SAB II e SAB III são moduladas pela ZCIT, ZCAS e perturbações frontais.

O Perfil II congrega os municípios com os mais altos percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário (>55%). Destes, a maioria (~84%) praticam a agricultura familiar e quase todos sob regime de sequeiro. Em relação aos demais perfis, os municípios que compõe esse perfil apresentam os percentuais de financiamentos agrícolas são considerados moderados, apresenta os piores indicadores sociais entre os perfis delimitados. A população residente neste perfil é predominantemente rural, consequentemente apresenta um grau de urbanização inferior a 39%. Ainda foi constatado que nesse perfil congrega as maiores taxas de analfabetismo e de pessoas consideradas vulneráveis à pobreza (>72%). Com relação aos indicadores de desenvolvimento (Renda per capita dos vulneráveis à pobreza, IDH e PIB) estes são considerados os mais baixos. No tocante às condições sanitárias este perfil apresenta elevados percentuais de domicílios com esgotamento inadequado. Para as condições sociais, o perfil agrega municípios com alta mortalidade e de pessoas que recebem ajuda do Programa Bolsa Família.

As condições sociais precárias do Perfil II provavelmente estão associadas à atividade econômica predominante da região: a agricultura familiar sob regime de sequeiro. Devido à precipitação da região ser consideravelmente irregular interanualmente, o que já suficiente para que essa atividade seja de alto risco, as características do solo também representam um fator potencial para o fracasso quase permanente desta atividade. As regiões do SAB II e III estão localizadas sobre áreas com solos predominantemente cristalinos, de acordo com Feitosa e Feitosa (2011). Esses solos possuem como características marcantes a pouca profundidade, pequena disponibilidade de água, tanto superficial como subterrâneas (FEITOSA e FEITOSA, 2011). De acordo com as características anteriormente explicitadas, a população destas regiões (SAB II e SAB III) tornam-se mais susceptíveis às mudanças climáticas, pois de acordo com o

PBMC (2015) os cenários projetados para estas áreas tornarão a agricultura familiar uma atividade de riscos elevadíssimos (ambientes mais áridos, redução de até 20% da precipitação). Como há uma parcela considerável da população que é economicamente dependente da agricultura familiar, logo é esperado que as condições de pobreza se intensifiquem, se não houver um plano de ação de mitigação para a região. As estratégias de adaptação e mitigação, neste caso, são fundamentais, pois dependendo de suas eficácias os efeitos causados pelas mudanças climáticas podem manifestar de forma diferentes (GBETIBOUO, 2009). Cure et al. (2013) reforçam que esses efeitos podem ser danosos e serão sentidos mais fortemente pela parcela mais pobre das populações e por pequenos agricultores.

Apesar da elevada parcela da população ocupada na agricultura familiar, constatou-se que o financiamento é considerado, em relação aos demais perfis, moderado, o que parece contraditório. No entanto, essa aparente contradição provavelmente esteja associada ao fato de grande parte dos agricultores familiares não serem proprietários das áreas onde cultivam. Ainda é muito forte na região, embora não predominante, a presença de grandes propriedades rurais que agregam muitas famílias que residem e trabalham nessas propriedades. Como um dos critérios para se ter acesso aos financiamentos é que o agricultor seja proprietários da sua área, logo isso pode ser uma razão provável apontada por Lindoso et al. (2011). Essa dificuldade dos agricultores familiares de acesso ao crédito já foi relatada na literatura (ARAÚJO, 2010; LINDOSO et al., 2011; e GUEDES, 2016) Ainda de acordo com os autores supracitados, a dificuldade de acesso ao crédito praticamente impossibilita o acesso às modernas técnicas de produção.

De acordo com as características gerais delineadas neste Perfil, agregando o SAB II e SAB III que são os grupos com as menores precipitações da região Semiárida, com os maiores percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário e as piores condições sociais, infraestrutura e desenvolvimento este perfil foi intitulado de SAB II e SAB III 2, elevada % ocupados na agropecuária e com piores condições sociais.

De acordo com a Tabela 4, o Perfil Puro III reúne municípios localizados à região SAB IV, considerada a segunda região mais chuvosa, com precipitação média de aproximadamente 820 mm, estende-se desde o leste dos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, todo o Ceará e oeste do Piauí (TINOCO et al., 2018). Nesta região o início da estação chuvosa é dezembro, intensificando-se até abril. O sistema meteorológico que atua neste período é a ZCIT, devido a sua posição mais meridional (TINOCO et al., 2018). Este perfil, congrega municípios com medianos

percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário (~46%). Destes, (~80%) dos estabelecimentos praticam a agricultura familiar e 86% sob regime de sequeiro. Em relação aos demais perfis, os percentuais de financiamentos agrícolas são mais elevados. Os maiores percentuais de financiamento deste perfil em relação ao Perfil III, provavelmente estejam relacionados a um melhor nível de conhecimento da população, haja vista que a taxa de analfabetismo é intermediária em relação aos demais perfis, conforme discutido mais adiante. Deve contribuir para esse quadro o fato de três das cinco maiores cidades do SAB são localizadas no SAB IV e, conseqüentemente, congregam esse perfil. Normalmente, no SAB, os melhores indicadores sociais são observados nas grandes cidades e em torno delas. Este perfil foi denominado de SAB IV 3, medianos % ocupados agropecuária e com condições sociais intermediárias.

O delineamento geral das características relacionadas a esse perfil dá-se através de situações intermediárias da população residente em áreas urbanas com limiar de 39 à 65%. Neste contexto, encontra-se no perfil situações intermediárias de analfabetos e de vulneráveis à pobreza em relação aos demais perfis (Tabela 4). Indicadores de desenvolvimento (Renda per capita dos vulneráveis a pobreza, IDH e PIB) também são de níveis intermediários. No contexto sanitário, o perfil agrega domicílios com acesso ao abastecimento de água e com esgotamento inadequado considerados moderados. Das condições sociais, também possui mortalidade e pessoas que recebem bolsa família medianos. De modo geral, o perfil contém características socioeconômicas e infraestrutura em níveis intermediários, e segundo Almeida (2012) apesar do melhoramento dos impactos gerados nos períodos de estiagem com ações governamentais tais como PRONAF, projetos de irrigação e transposição de bacias, açudagem, seguro safra etc., a vulnerabilidade da região ainda é sentida com a redução dos rebanhos, das safras agrícolas e na intensidade das atividades não-agrícolas, de forma a desorganizar a economia sertaneja durante o período de estiagem prolongada.

De acordo com as características gerais delineadas Perfil Puro III, agregando o SAB IV que ocupa a segunda posição do grupo com as maiores precipitações da região Semiárida, com medianos percentuais de pessoas ocupadas no setor agropecuário e intermediárias condições sociais, infraestrutura e desenvolvimento este perfil foi intitulado de SAB IV, Intermediária População agropecuária e com condições sociais moderadas.

Os resultados apresentados na Tabela 5 revelam a tipologia estabelecida dos municípios do SAB, mediante a aplicação do método GoM. O delineamento obtido dos

perfis puros, aqueles que integram as características de um dos três perfis, foi baseado em 538, aproximadamente 47% do total municípios. O do tipo “predominante 1” (SAB I, baixo % de ocupados no setor agropecuário e melhores condições sociais) contribui com 13,9% do total de casos. Os perfis mistos com predominância desse tipo contribuem com 10,2% para o total de casos, o que resulta em que o tipo 1 predomina representem 24,1% de todos os casos. Por sua vez, o “predominante 2” (SAB II e SAB III, elevado % de ocupados no setor agropecuário e piores condições sociais) foi caracterizado com base em 162 (14,3%). Os perfis mistos com predominância no 2 participam com 9,9% para o total de casos, o que resulta em que o tipo predomina representem 24,2% de todos os casos. O perfil do tipo “predominante 3” (SAB IV, intermediário % de ocupados no setor agropecuário e com intermediárias condições sociais) foi composto por 218 (19,2%) municípios. Ademais, verifica-se que os municípios com características mistas do “predominantes 3” são as mais frequentes, contribuindo com 41,3% do total de municípios considerados no estudo. Em relação aos amorfos, que são os municípios que não possuem características predominantes de nenhum perfil, estes correspondem aproximadamente 10% do total.

Tabela 4. Descrição dos perfis gerados pela análise de GoM para o SAB.

Variáveis	Categorias	Frequência		Probabilidade estimada (λ)			Fatores		
		N	%	K1	K2	K3	P1	P2	P3
RPH	SAB I	93	8,2	0,204	0,000	0,061	2,5	0,0	0,7
	SAB II	241	21,2	0,213	0,281	0,164	1,0	1,3	0,8
	SAB III	246	21,7	0,194	0,372	0,125	0,9	1,7	0,6
	SAB IV	555	48,9	0,388	0,346	0,649	0,8	0,7	1,3
Ocupados no setor agropecuário (%)	Baixo	284	25,0	1,000	0,000	0,000	3,9	0,0	0,0
	Médio	284	25,0	0,000	0,000	0,578	0,0	0,0	2,1
	Alto	284	25,0	0,000	0,221	0,422	0,0	0,6	1,8
	Muito Alto	283	24,9	0,000	0,779	0,000	0,0	3,3	0,0
Ocupados na agricultura familiar (%)	Baixo	284	25,0	0,932	0,000	0,000	3,7	0,0	0,0
	Médio	284	25,0	0,067	0,000	0,536	0,3	0,0	2,1
	Alto	284	25,0	0,000	0,164	0,464	0,0	0,6	1,8
	Muito Alto	283	24,9	0,000	0,835	0,000	0,0	3,3	0,0
Estabelecimentos com agricultura familiar (%)	Baixo	284	25,0	0,553	0,053	0,203	2,2	0,2	0,8
	Médio	284	25,0	0,300	0,166	0,279	1,2	0,6	1,1
	Alto	284	25,0	0,086	0,265	0,342	0,3	1,1	1,4
	Muito Alto	283	24,9	0,060	0,515	0,175	0,2	2,1	0,7
Estabelecimentos com agricultura familiar e Lavoura temporária (%)	Baixo	284	25,0	0,462	0,126	1,847	1,8	0,5	0,8
	Médio	284	25,0	0,306	0,179	1,226	1,2	0,7	1,0
	Alto	284	25,0	0,144	0,275	0,575	0,6	1,1	1,2
	Muito Alto	283	24,9	0,087	0,419	0,348	0,3	1,7	0,9
Estabelecimentos agrícolas que receberam financiamento (%)	Baixo	284	25,0	0,312	0,188	1,246	1,2	1,1	0,7
	Médio	284	25,0	0,202	0,236	0,806	0,8	1,2	0,9
	Alto	284	25,0	0,205	0,307	0,817	0,8	0,8	1,2
	Muito Alto	283	24,9	0,282	0,267	1,130	1,1	0,8	1,1
Estabelecimentos com agricultura de sequeiro (%)	Baixo	284	25,0	0,619	0,000	0,183	2,5	0,0	0,7
	Médio	284	25,0	0,269	0,021	0,384	1,1	0,1	1,5
	Alto	284	25,0	0,059	0,326	0,315	0,2	1,3	1,2
	Muito Alto	283	24,9	0,052	0,652	0,117	0,2	2,6	0,4
Grau de urbanização	Baixo	284	25,0	0,000	0,775	0,000	0,0	3,1	0,0

		Médio	284	25,0	0,000	0,224	0,420	0,0	0,9	1,7
		Alto	284	25,0	0,000	0,000	0,580	0,0	0,0	2,3
		Muito Alto	283	24,9	1,000	0,000	0,000	4,0	0,0	0,0
Taxa de analfabetismo		Baixo	284	25,0	0,871	0,000	0,000	3,5	0,0	0,0
		Médio	284	25,0	0,130	0,000	0,518	0,5	0,0	2,1
		Alto	284	25,0	0,000	0,164	0,481	0,0	0,6	1,9
		Muito Alto	283	24,9	0,000	0,835	0,000	0,0	3,3	0,0
Vulneráveis à Pobreza		Baixo	284	25,0	1,000	0,000	0,000	4,0	0,0	0,0
		Médio	284	25,0	0,000	0,000	0,571	0,0	0,0	2,3
		Alto	284	25,0	0,000	0,208	0,428	0,0	0,8	1,7
		Muito Alto	283	24,9	0,000	0,792	0,000	0,0	3,1	0,0
Renda <i>per capita</i> dos vulneráveis à pobreza		Baixo	284	25,0	0,000	0,835	0,000	0,0	3,3	0,0
		Médio	285	25,1	0,000	0,165	0,474	0,0	0,6	1,9
		Alto	284	25,0	0,102	0,000	0,525	0,4	0,0	2,1
		Muito Alto	282	24,8	0,897	0,000	0,000	3,6	0,0	0,0
IDH		Baixo	286	25,2	0,000	0,000	0,000	0,0	3,3	0,0
		Médio	283	25,0	0,000	0,464	0,000	0,0	0,6	1,9
		Alto	285	25,1	0,066	0,536	0,262	0,3	0,0	2,1
		Muito Alto	281	24,7	0,934	0,000	3,773	3,8	0,0	0,0
PIB		Baixo	284	25,0	0,000	0,830	0,000	0,0	3,3	0,0
		Médio	284	25,0	0,000	0,170	0,473	0,0	0,7	1,9
		Alto	284	25,0	0,109	0,000	0,528	0,4	0,0	2,1
		Muito Alto	283	24,9	0,891	0,000	0,000	3,6	0,0	0,0
Domicílios com acesso ao abastecimento de água (%)		Baixo	285	25,1	0,000	0,892	0,000	0,0	3,5	0,0
		Médio	283	24,9	0,000	0,108	0,526	0,0	0,4	2,1
		Alto	285	25,1	0,198	0,000	0,473	0,8	0,0	1,9
		Muito Alto	282	24,8	0,802	0,000	0,000	3,2	0,0	0,0
Domicílios com esgotamento inadequado (%)		Baixo	284	25,0	0,741	0,175	0,000	2,9	0,7	0,0
		Médio	284	25,0	0,259	0,086	0,359	1,0	0,3	1,4
		Alto	284	25,0	0,000	0,138	0,483	0,0	0,5	1,9
		Muito Alto	283	24,9	0,000	0,599	0,157	0,0	2,4	0,6
Taxa de Mortalidade		Baixo	284	25,0	0,717	0,000	0,161	2,8	0,0	0,6
		Médio	284	25,0	0,148	0,130	0,379	0,6	0,5	1,5

	Alto	284	25,0	0,077	0,319	0,299	0,3	1,3	1,2
	Muito Alto	283	24,9	0,056	0,056	0,160	0,2	2,2	0,6
Pessoas que recebem Bolsa Família (%)	Baixo	284	25,0	0,960	0,000	0,000	3,8	0,0	0,0
	Médio	284	25,0	0,040	0,000	0,536	0,1	0,0	2,1
	Alto	284	25,0	0,000	0,145	0,464	0,0	0,6	1,8
	Muito Alto	283	24,9	0,000	0,855	0,000	0,0	3,4	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

*RPG – Regiões Pluviometricamente Homogêneas

Tabela 5. Distribuições Marginais dos perfis da vulnerabilidade no SAB.

Predominância de Perfil	Frequência	%
Predominante 1 – Vulnerabilidade baixa	158	
(SAB I¹, baixo % ocupados no setor agropecuário e melhores condições sociais)		13,9
PM1-12 (Misto, predominância de 1 com característica de 2)	06	0,5
PM1-13 (Misto, predominância de 1 com característica de 3)	110	9,7
<i>Total</i>	274	24,1
Predominante 2 – Vulnerabilidade alta	162	
(SAB II e SAB III², elevado % ocupados no setor agropecuário e piores condições sociais)		14,3
PM2-21 (Misto, predominância de 2 com característica de 1)	03	0,3
PM2-23 (Misto, predominância de 2 com característica de 3)	109	9,6
<i>Total</i>	274	24,2
Predominante 3 – Vulnerabilidade média	218	
(SAB IV³, intermediário % ocupados no setor agropecuário e intermediárias condições sociais)		19,2
PM3-31 (Misto, predominância de 3 com característica de 1)	126	11,1
PM3-32 (Misto, predominância de 3 com característica de 2)	125	11,0
<i>Total</i>	469	41,3
Amorfo	118	10,4
Total	1135	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

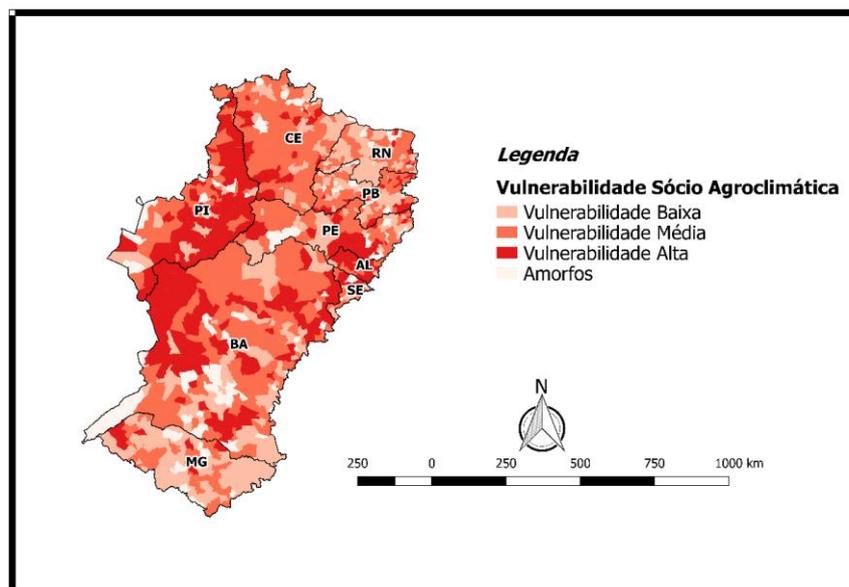
Nota: ¹SAB I (Região mais chuvosa com média pluviométrica de 1.000 mm); ²SAB II e SAB III (Regiões mais secas com média pluviométrica de 800 e 600 mm, respectivamente); ³SAB IV (Região intermediária com média pluviométrica de 820 mm)

A Figura 4 mostra a distribuição espacial da vulnerabilidade agroclimatológica, mensurada pela aplicação do GoM, para os municípios da região semiárida do Brasil. Os resultados apontam amplas diferenciações intra-regional. A inspeção visual do mapa temático da Figura 4 revela que a região centro-oeste do SAB, em linhas gerais, é considerada a mais vulnerável agregando municípios localizados em regiões climatológicas mais secas. Além disso, a população caracteriza-se por se concentrar no meio rural, e em que pese produtividade agrícola ser considerada mediana em relação aos demais municípios da região, possui elevado percentual de pessoas ocupadas no setor agropecuário e que recebem bolsa família. Ademais, pode-se perceber pelo mapa que há áreas de bolsões de maior vulnerabilidade em toda a região considerada no estudo, como é o caso praticamente de todos os municípios de Alagoas e em áreas específicas de todos os estados que compõe o semiárido brasileiro.

Ao considerar a região mais ao sul do semiárido evidencia-se uma maior concentração de bolsões de municípios com vulnerabilidades consideradas mais baixas comparativamente às demais áreas. Congrega municípios com característica pluviométrica mais chuvosa, domicílios concentrados na área urbana e com as melhores condições sociais, desenvolvimento e infraestrutura, bem como congrega municípios que possuem as maiores produtividades das culturas básicas de subsistência.

Por último, ao se analisar no Mapa a porção mais ao norte da região do semiárido evidencia-se um importante número de municípios classificados como sendo de vulnerabilidade média. Localizam-se nessa porção uma parte importante dos municípios dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba e alguns municípios mais ao norte do estado de Pernambuco. Congrega municípios com características intermediárias predominantes analfabetismo e de vulneráveis a pobreza, bem como indicadores de desenvolvimento e de serviços básicos de infraestrutura e com produtividades intermediárias das culturas de subsistência (Feijão, milho e mandioca) em relação as outras regiões que compõem todo o SAB. Essa região de modo geral considerada a segunda mais chuvosa por Tinoco et al. (2018) sofre influência principalmente da Zona de convergência intertropical a qual posiciona-se mais no hemisfério sul no período de fevereiro a maio.

Figura 4. Distribuição espacial da vulnerabilidade agroclimatológica do SAB.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5. Conclusão

A principal atividade econômica do SAB é a produção de grãos (principalmente milho e feijão, que são seus alimentos básicos) e produção pecuária. Essas atividades são desempenhadas na região, primordialmente tendo como base a agricultura familiar e dependem substancialmente das condições climáticas, especialmente precipitação. Assim, o conhecimento da vulnerabilidade agrícola municipal da região semiárida do Brasil, considerando características climáticas, sociais, econômicas, demográficas e agrícolas é de suma importância, uma vez que fornecerá suporte técnico-científico para subsídios para a elaboração de políticas públicas para mitigar e adaptar-se às variações climáticas.

Em linhas gerais, os resultados do trabalho permitiram identificar perfis de vulnerabilidade do SAB frente às características climáticas, agrícolas e sociodemográficas, bem como suas produtividades relacionadas à agricultura familiar.

O delineamento encontrado na construção dos perfis puros permitiu definir 3 tipos de perfis. O Perfil I congrega municípios localizados na área SAB I (Mais chuvoso, 1.000 mm), com baixo % ocupados agropecuária e melhores condições sociais. É composto por municípios com melhores indicadores que retratam a pobreza, educação, condição de vida, trabalho, infraestrutura e desenvolvimento e possuem maiores concentrações de

chuva com a população predominante no meio urbano. O Perfil II é composto por municípios localizados nas áreas SAB II e SAB III (Mais secos, 800 e 600 mm), com elevada % ocupados na agropecuária e piores condições sociais com os piores indicadores à pobreza, educação, condição de vida, trabalho, infraestrutura e desenvolvimento, congrega as áreas mais secas com percentual da população concentrada no meio rural. O Perfil III é caracterizado por congrega municípios localizados SAB IV (Intermediário em termo de chuvas: 820 mm), com medianos % ocupados agropecuária e com condições sociais intermediárias congrega de municípios em situação intermediária nas características de pobreza, educação, condição de vida, trabalho, infraestrutura e desenvolvimento.

Destaca-se os resultados obtidos para os municípios que compõe o Perfil II que são considerados hotspots de vulnerabilidade, uma vez que detém as piores condições climáticas (mais secas), com predominância de pessoas que praticam e dependem da agricultura familiar sob regime de sequeiro, o que provavelmente é para subsistência familiar, com solos rochosos e pouca disponibilidade de água e os piores indicadores sociodemográficos com dificuldades ao acesso aos programas do governo, devido as exigências para acesso ao crédito, sendo uma das principais o agricultor ser dono da terra. Nesta região provavelmente há a prática de “meeiro”. Uma das medidas de mitigação seria ampliar a disponibilidade de crédito com acompanhamento dos órgãos responsáveis para que não haja efeito contrário com possíveis endividamentos dos agricultores familiares.

Referências

ALBIERO, Daniel; MENDES, Cajado Diana; CARVALHO, Fernandes, Ivana Leila; ALMEIDA, Monteiro, Leonardo de; LEITE, Esmeraldo, Gema Galgani Silveira. Tecnologias Agroecológicas para o Semiárido. **Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2015.

ALMEIDA, Humberto Marinho. Práticas espaciais, gestão seletiva e o desenvolvimento territorial no Ceará. **GT20 - Políticas Públicas, Governo e Desenvolvimento**. Terezina, PI. 2012.

ARAÚJO, P.H.C. *et al.* Efeitos da seca sobre a produtividade agrícola dos municípios da região nordeste. **IX Encontro de Economia Baiana**, 2013.

ASSAD, Eduardo Delgado; PINTO, Hilton S.;. Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. **Campinas: Embrapa**, 2008.

BLAIKIE, P. et al. At risk. Natural hazards, peoples vulnerability and disasters London: **Routledge**, 1994. 284 p.

CAVALCANTI, I. F. de A. **Um estudo Sobre Interações Entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 121p. 1982.

CERQUEIRA, C. A. **Uma tipologia dos municípios da região Nordeste**. Belo Horizonte, 2002. Mimeografado.

EMDADHAQUE, L.; BRANCO, A, de M. Vulnerabilidad y desastres: análisis comparativo de estrategias para la mitigación de sequías, **Desastres & Sociedad**, Lima, n,6, enero/diciembre, p,35-57, 1998.

FEITOSA, F.; FEITOSA, E. Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil. **In: Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz (editores). Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

GRAEF, F.; HAIGIS, J. Spatial and temporal rainfall variability in the sahel and it's effects on for men management strategies. **Journal of Arid Environments**, v.48, p.221-231, 2001.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIM, A. M.; SABBATO, A. di. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 351-370, abr./jun. 2012.

GUEDES, G. R; CAETANO, A. J; MACHADO, C. J; BRONDIZIO, E. S. Identificabilidade e estabilidade dos parâmetros no método Grade of Membership (GoM): considerações metodológicas e práticas. **Revista Brasileira de Estudos de População** (Impresso), v. 27, p. 21-33, 2010.

HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, 112(2): 243-251. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, Mapas Regionais. 2010. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiaridobrasileiro.html>> Acesso em: 25 de outubro de 2017.

IBGE. Censo Agropecuário. 2006. Endereço:< http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf> acessado em: 15 de junho de 2016.

IBGE. Pesquisa Suplementar de Segurança Alimentar PNAD 2013. Endereço:< <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000020112412112014243818986695.pdf>>. Rio de Janeiro, 2014. Acessado em: 15 de junho de 2016.

LINDOSO, Diego et al. Vulnerabilidade socioeconômica da agricultura familiar brasileira às mudanças climáticas: o desafio da avaliação de realidades complexas. 2010.

LOBELL, David B. et al. “Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials”. **Nature Climate Change**, 1(1): 42-45. 2011.

MARENGO, J. A.; ALVES L. M.; BESERRA, E. A., LACERDA, F.F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Instituto Nacional do Semiárido**, Campina Grande, PB, 2011.

MARENGO, J.A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A.P; BRITO, S; MORAES, O.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2017. doi: 10.1590/0001-3765201720170206.

MIN. MINISTERIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – relatório - grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. Brasília, 2005.

NASUTI, S.; CURI, M.; MEDEIROS, N.; PINTO, A.; IBIAPINA, I.; ROZENDO, C.; HIROO, C.: “Conhecimento tradicional e previsões meteorológicas: agricultores familiares e as “experiências de inverno” no Semiárido Potiguar”. Revista econômica do Nordeste, Vol. 44, N° especial, pp 383-402. 2013.

NOBRE, Carlos A.; SALAZAR, Luis F.; OYAMA, Marcos; CARDOSO, Manoel; SACHS, Ignacy. *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: **Studio Nobel**, 2007.

OLIVEIRA, P. T.; E SILVA, CM Santos; LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-14, 2016.

PADOIN, Isabel Graciele; VIRGOLIN, Isadora Wayhs Cadore. A vulnerabilidade social como uma dificuldade a participação política. **Seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão**. UNICRUZ, 2010.

PBMC. Scientific basis of climate change. Contribution of working group 1 of the Brazilian climate change Panel to the first National assessment report on climate change. In Ambrizzi, T., Ahmad, M. (eds.), COPPE, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

PEREIRA, A.R. et al. **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2007.

PEREIRA, Anete Marília.; SOARES, Beatriz Ribeiro. Urbanização e pobreza na região Norte Mineira: considerações preliminares. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina** , Universidade de São Paulo, 2005.

PINTO, Julimar Santos; CAETANO, André Junqueira. A Heterogeneidade da Vulnerabilidade Social das Juventudes: Uma Perspectiva Empírica Através do Método Grade Of Membership. **Mediações-Revista de Ciências Sociais**, v. 18, n. 1, p. 164-182, 2013.

QUEIROZ, B. L. ; BARBIERI, Alisson F. ; CONFALONIERI, U. . Mudanças Climáticas, Dinâmica Demográfica e Saúde: Desafios para o Planejamento e as Políticas Públicas no Brasil. **REVISTA POLÍTICA E PLANEJAMENTO REGIONAL**, v. 3, p. 93-116, 2017.

SANTOS, Gilmar Ribeiro; SILVA, Ricardo dos Santos. Desenvolvimento regional no norte de Minas Gerais. **GT05 - Desenvolvimento em perspectiva: teorias, experiências e projetos políticos**. Montes Claros, Minas Gerais, 2011.

SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues; DANTAS, Renilson Targino; CAVALCANTI, Enilson Palmeira. Influência do fenômeno El Niño no rendimento da cultura de algodão no Estado da Paraíba. **CBMET**, 1998.

TINÔCO, I. C. M.; BEZERRA, B. G. ; LUCIO, P. S. ; BARBOSA, L. M. . Characterization of Rainfall Patterns in the Semiarid Brazil. **ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (UFRJ. IMPRESSO)**, v. 41, p. 397-409, 2018.

WEHBE, M. *et al.* **Social Methods for Assessing Agricultural Producers: Vulnerability to Climate Variability and Change Based on the Notion of Sustainability.** AIACC Working Paper n. 19, 2005.