



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

TÍTULO (IMPACTOS DECORRENTES DAS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS SOBRE A ARIDEZ NAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS, OU COM POTENCIAL DE PRODUÇÃO, DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL)

*José Micael Ferreira da Costa*¹ ; *Antonio Duarte Marcos Junior*² ; *Cleiton da Silva Silveira*³.

RESUMO – Existe a necessidade de uma análise e um planejamento mais detalhado dos impactos decorrentes das mudanças climáticas projetadas para este século. Tais mudanças poderão afetar a produção de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, sua utilização no setor de biomassa e geração de etanol. O objetivo deste estudo é avaliar os impactos das mudanças climáticas no coeficiente de aridez das principais regiões produtoras e com potenciais de produção de cana-de-açúcar no Brasil, utilizando as projeções globais do IPCC-AR5 e dados observados do CRU para temperatura e precipitação. Foram utilizadas quatro regiões de estudo: parte do litoral Nordestino e os estados de São Paulo, Mato-Grosso, Piauí e Maranhão. Os resultados obtidos para as quatro regiões conforme os cenários RCP 4.5 e 8.5 projetam: para a anomalia de temperatura um aumento gradativo da mesma, bem como para as anomalias de evapotranspiração potencial (ETP). Para os coeficientes de aridez, uma variação de até 0,1 considerando suas respectivas medianas.

ABSTRACT – There is a necessity for analysis and more detailed planning of the impacts of the projected climate changes for this century. Such changes may affect the sugarcane production and therefore its utilization in the biomass sector and generation of ethanol. This study aims to evaluate the impacts of climate changes in the coefficient of aridity of the main producing regions and with potential of sugarcane production in Brazil, utilizing the global projections of the IPCC-AR5 and observed data of the CRU for temperature and precipitation. Four study regions were utilized: part of the Northeast coast and the states of São Paulo, Mato Grosso, Piauí and Maranhão. The results for the four regions, according to the RCP 4.5 and 8.5 scenarios, forecast: for temperature anomaly, a gradual increase of temperature, as well as the anomalies of potential evapotranspiration (ETP). To the coefficient of aridity, a variation of up to 0.1, considering their respective medians.

Palavras-Chave – Clima, Coeficiente de aridez, Cana-de-açúcar.

1) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – Unilab; micaelcosta@aluno.unilab.edu.br.

2) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – Unilab; duarte.jr@hotmail.com.br.

3) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – Unilab; cleitonsilveira@unilab.edu.br.

1 - INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar tem apresentado um expressivo aumento nos últimos anos. No entanto, segundo relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), devido ao aumento das emissões de GEE (gases de efeito estufa), o mundo como um todo, inclusive o Brasil, poderá passar por transformações drásticas no clima, ciclo hidrológico e, por conseguinte, na produção das plantações de cana-de-açúcar, o que atingirá diretamente sua utilização como biomassa para o setor elétrico. Segundo Billings (1952), o meio ambiente influencia o crescimento, a estrutura e a reprodução dos vegetais em razão da maior ou menor disponibilidade de calor, luz, água, elementos e compostos.

O IPCC trabalha com quatro cenários: RCP 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, que correspondem a concentrações médias de 450, 650, 850 e 1370 ppm de CO_{2eq.}, respectivamente. Verifica-se que essas projeções visam quadros climáticos dos menos aos mais pessimistas, obtendo como principal agravante a variação da temperatura, influenciando na ETP (evapotranspiração potencial) e a precipitação. Baseando-se nestas projeções, estimasse que terão que haver mudança nos padrões atuais estabelecidos para a produção da cana-de-açúcar. Segundo Souza *et al.*(2006), a disponibilidade hídrica do solo é influenciada pelas condições térmicas e pela distribuição espaço-temporal das precipitações, influenciando os processos de evapotranspiração e absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das plantas.

Assim, o conhecimento da aridez é necessário para, além de explicar às características da paisagem, possibilitar à determinação de medidas políticas e de gestão necessárias a utilização racional dos recursos hídricos em muitas regiões. Existem várias metodologias utilizadas para a determinação da aridez de uma região. De acordo com Caitano *et al.* (2011), a definição elaborada pelas Nações Unidas, UNESCO (1979), baseia-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite - 1941, com posterior ajuste por Penman - 1953, segundo a qual o índice de aridez (IA) de uma região consiste na razão entre a quantidade de água advinda da chuva e as potenciais perdas de água para a atmosfera.

Baseando-se no que foi referido, objetiva-se com o presente trabalho gerar uma análise mais detalhada das mudanças climáticas previstas para este século, relacionados a anomalias de temperatura, ETP e precipitação, e com estes o cálculo do coeficiente de aridez.

2 - DESENVOLVIMENTO

2.1 - Material e Métodos

Para realização desse estudo, foram escolhidas quatro regiões: parte do litoral Nordestino e os estados de São Paulo, Mato-Grosso e Piauí. Estas regiões correspondem a áreas com os maiores plantios de cana-de-açúcar (regiões 1 e 2) e com possíveis potenciais de plantios futuros (regiões 3 e 4). A delimitação está representada na Figura 1, a qual é uma adaptação da imagem do estudo de Kohlhepp (2008).

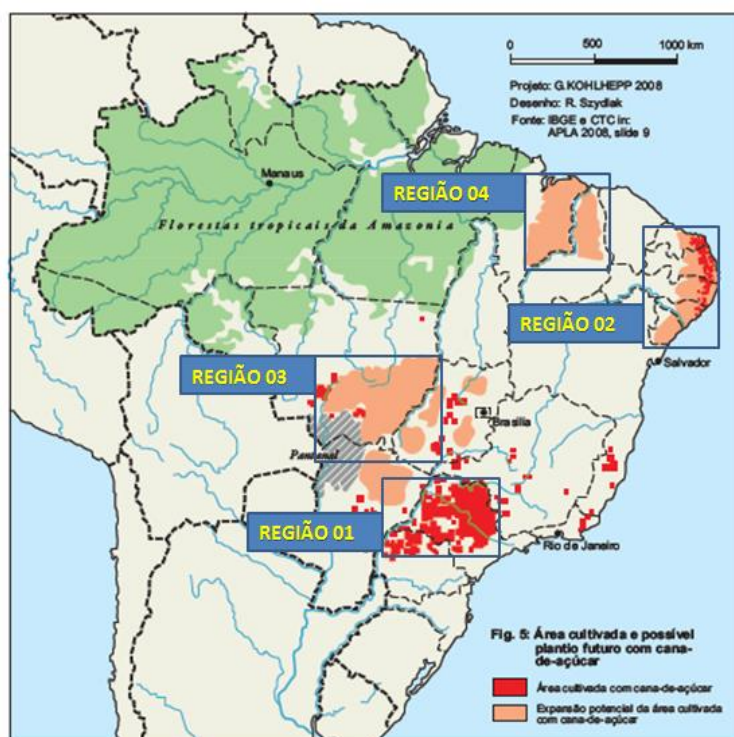


Figura1 – Delimitação das áreas de estudo, cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil.

O método de estimativa de evapotranspiração potencial utilizado foi o de Hargreaves (Equação 1), que utiliza variáveis de temperatura e radiação incidente na superfície. Para as projeções, foram utilizadas as séries do cenário histórico dos modelos globais do IPCC-AR5, no período de 1950 a 1999, tomando-os como referência, e extrapolando-os para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 no período de 2011 a 2100. O cenário RCP 4.5 foi utilizado mediante seu reconhecimento em conter projeções mais próximas da realidade, ou seja, com uma maior probabilidade de ocorrência. No entanto, o cenário 8.5 se refere a uma projeção extrema de mudanças climáticas, o que acarretaria nos maiores danos previstos para este século.

A análise do século XXI foi realizada através do cálculo de anomalias, na média anual, dividido em três períodos: 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100. Foram utilizados treze modelos

que fornecem diferentes dados para os mesmos períodos históricos: IPSL-CM5A-LR; CanESM2; ACCESS1-0; ACCESS1-3; CESM1-BGC; MIROC-ESM; IPSL-CM5B-LR; CSIRO-Mk3-6-0; HadGem2-AO; MIROC-ESM-CHEM; IPSL-CM5A-MR; MIROC5; MPI-ESM-LR.

$$E_{tp} = 0.0075 * R_a * C_t * \delta_t^{1/2} * T_{avgd} \quad (1)$$

Onde: E_{tp} é a Evapotranspiração potencial (mm.d^{-1}), R_a a radiação solar terrestre (mm), C_t o coeficiente de temperatura é função da umidade relativa, δ_t a temperatura máxima e temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), e T_{avgd} temperatura média ($^{\circ}\text{C}$).

As projeções fornecidas pelo IPCC foram corrigidas usando os dados observados do CRU (Climate Research Unit) para se chegar a uma resposta mais precisa para as projeções (equação 2), e a partir destas calcular o coeficiente de aridez.

$$X_{cor} = \left(\frac{X_m - \bar{X}_m}{S_m} \right) * S_{obs} + \bar{X}_{obs} \quad (2)$$

Onde: X_{cor} é a variável corrigida, X_m a variável modelo, \bar{X}_m a média do modelo, S_m o desvio padrão do modelo, S_{obs} o desvio padrão observado, \bar{X}_{obs} a média observada.

A classificação de clima quanto ao coeficiente de aridez, está demonstrado na tabela 1, conforme a resolução CONAMA N° 238.

Tabela 1 - Classificação de clima de acordo com o Índice de Aridez. Fonte: CONAMA (1997).

Classe	Índice
Hiper-árido	< 0,03
Árido	0,03 – 0,2
Semi-árido	0,21 – 0,5
Sub-úmido e seco	0,51 – 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as variáveis corrigidas, plotaram-se os gráficos no modelo de boxplot para as quatro regiões em estudo, segundo os dois cenários analisados. Inicialmente para as anomalias de temperatura e evapotranspiração potencial, baseando-se nos dados históricos para as quatro regiões em estudo, segundo os dois cenários apresentados. Os gráficos referentes às anomalias de precipitação não foram demonstrados devido à divergência de valores para os treze modelos estudados. Em seguida, plotaram-se os gráficos referentes ao coeficiente de aridez. Para a análise dos boxplot, serão levadas em consideração as variações nos quartis e suas respectivas medianas.

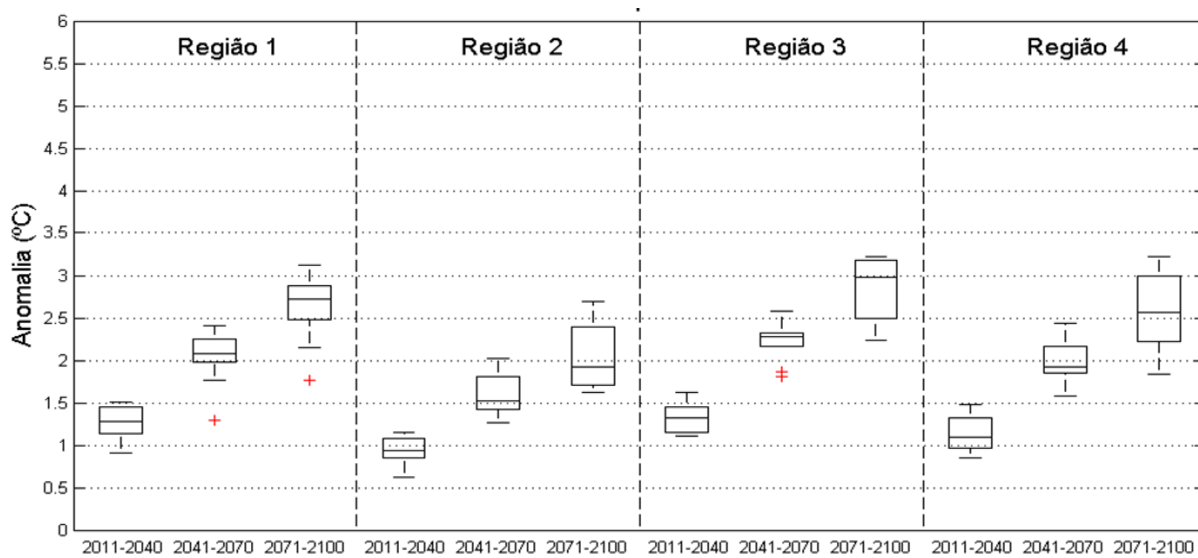


Figura 2 - Projeções de anomalias de temperatura segundo os modelos do cenário RCP 4.5.

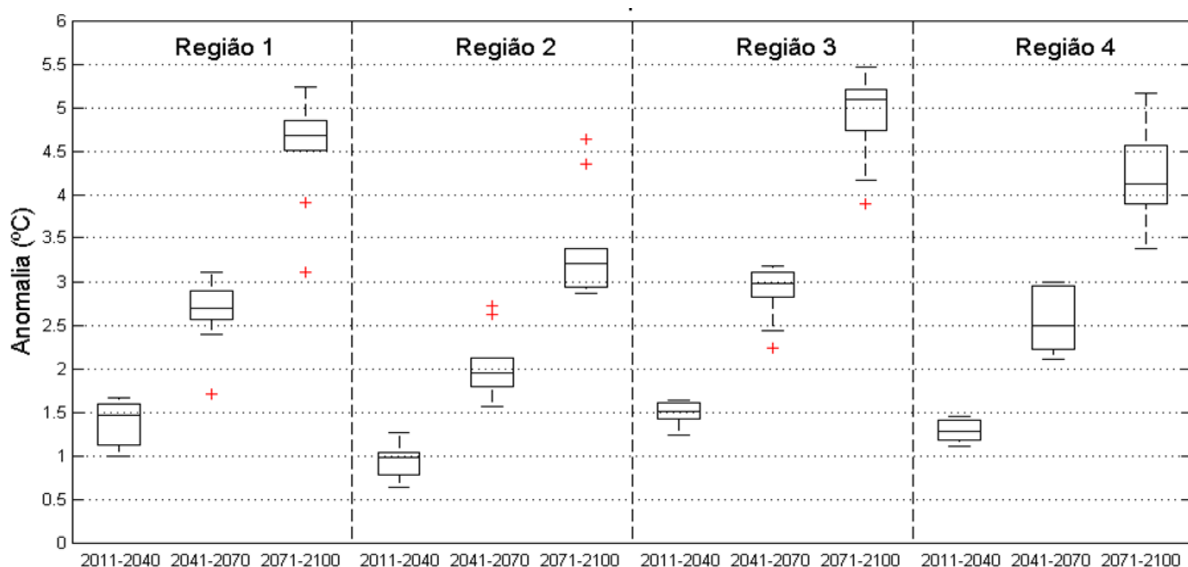


Figura 3 - Projeções de anomalias de temperatura segundo os modelos do cenário RCP 8.5.

Ao analisar-se e comparar-se os gráficos das figuras 2 e 3, observa-se uma mesma tendência crescente de elevação da temperatura para todas as regiões em estudo, as quais até o fim do século

para o cenário RCP 4.5 poderão variar entre 1° a 3° e para o cenário 8.5, que projeta condições mais extremas, variações de 1° a 5° possuindo seu crescimento de forma exponencial, considerando as medianas dos modelos utilizados.

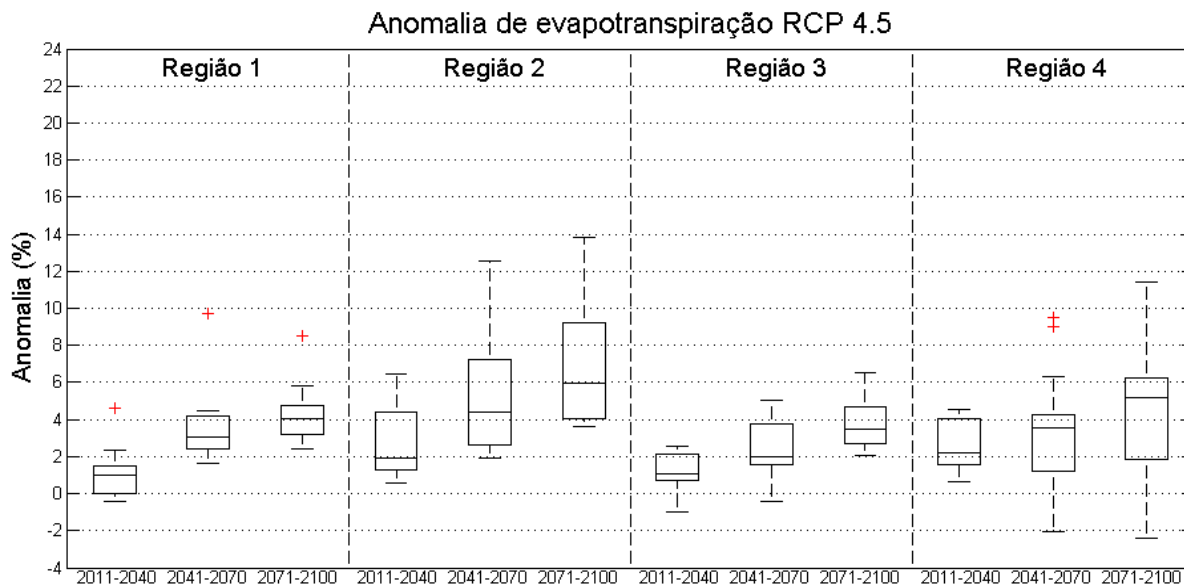


Figura 4 - Projeções de anomalias de ETP segundo os modelos do cenário RCP 4.5.

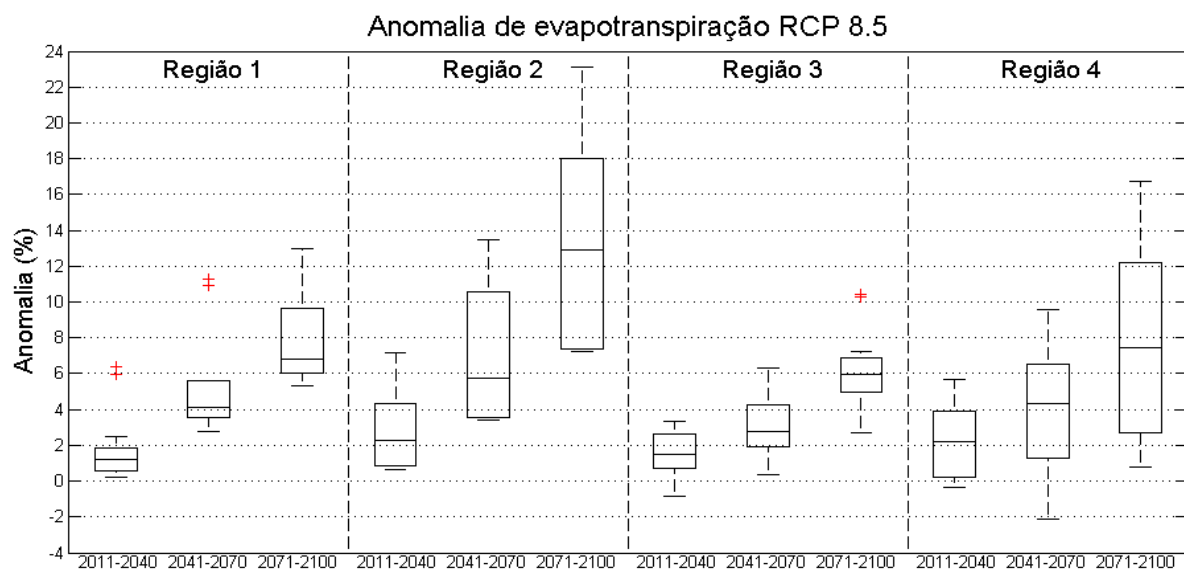


Figura 5 - Projeções de anomalias de ETP segundo os modelos do cenário RCP 8.5.

Conforme demonstrado na figura 4, as anomalias referentes à evapotranspiração potencial possuem uma tendência positiva para todas as regiões em estudo. Se analisarmos as respectivas medianas para os diferentes períodos coletados, essa evidência se torna ainda mais visível, com uma projeção de aumento entre 0% a 6%, e de até 14% considerando os quartis. Essas projeções se agravam para o segundo cenário, como visto na figura 5, onde as medianas das anomalias

apresentam uma maior discrepância, variando de aproximadamente 1% a 13%, podendo chegar a até 23% considerando os quartis da região 2.

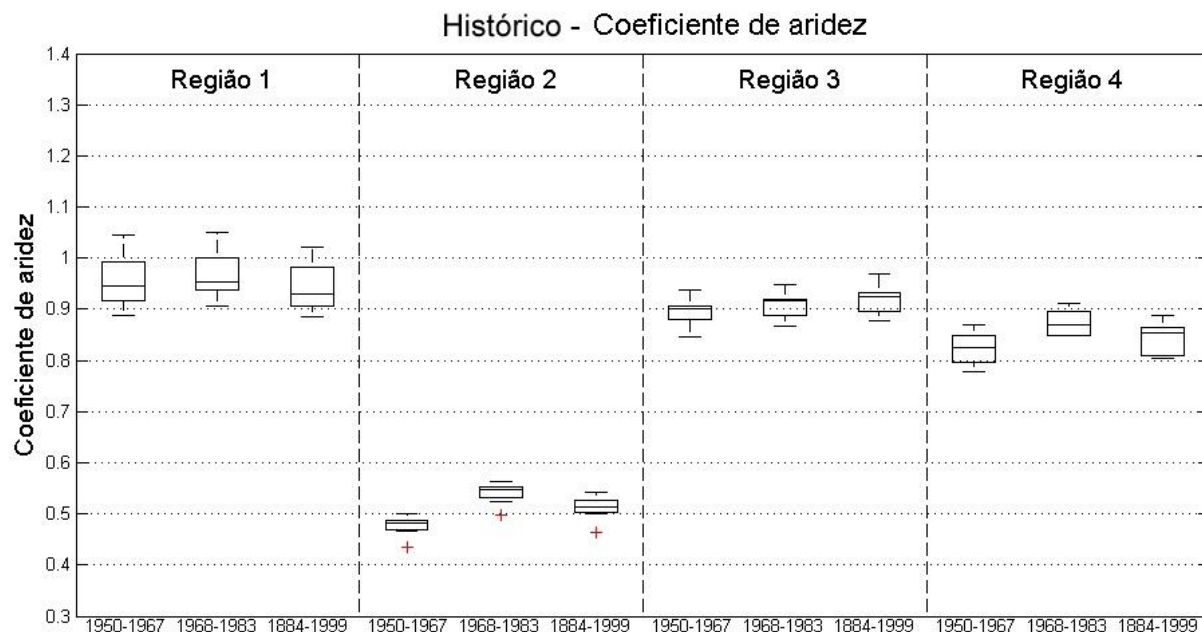


Figura 6 – Levantamento histórico do coeficiente de aridez.

O coeficiente de aridez histórico apresenta, conforme demonstrado na figura 6, um equilíbrio com pequenas variações nas medianas para todas as regiões, nos diferentes períodos históricos. Analisa-se então, de acordo com a tabela 1, que a classificação de clima de acordo com o Índice de Aridez se manteve em todo o período histórico, sendo a região 2 classificada entre Semi-árido e Sub-úmido e seco, e as demais regiões com clima Sub-úmido e úmido.

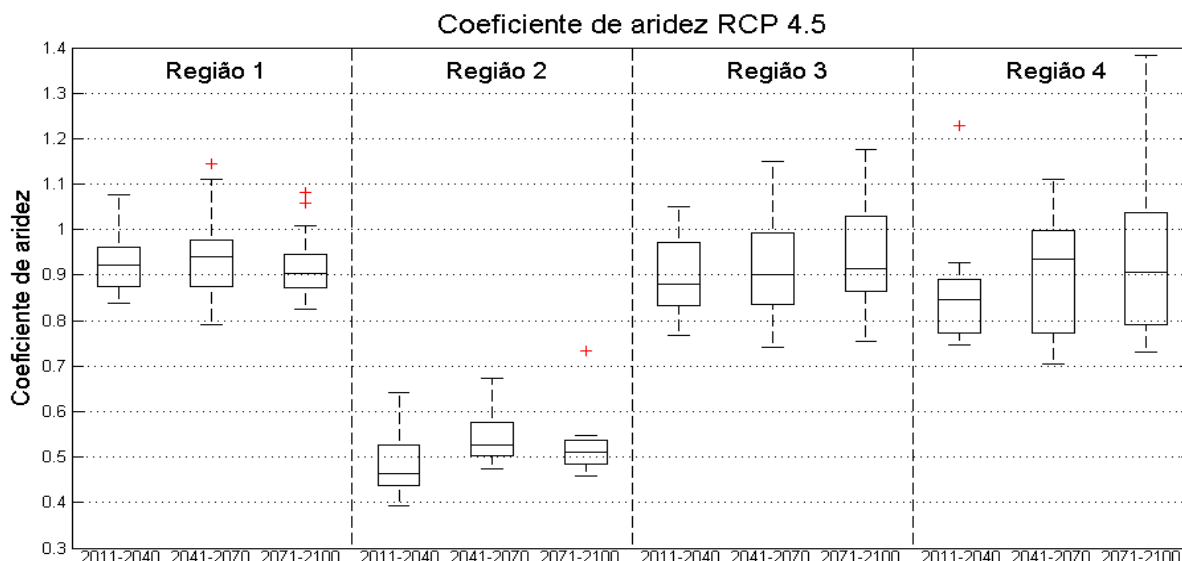


Figura 7 – Projeções do coeficiente de aridez segundo os modelos do cenário RCP 4.5.

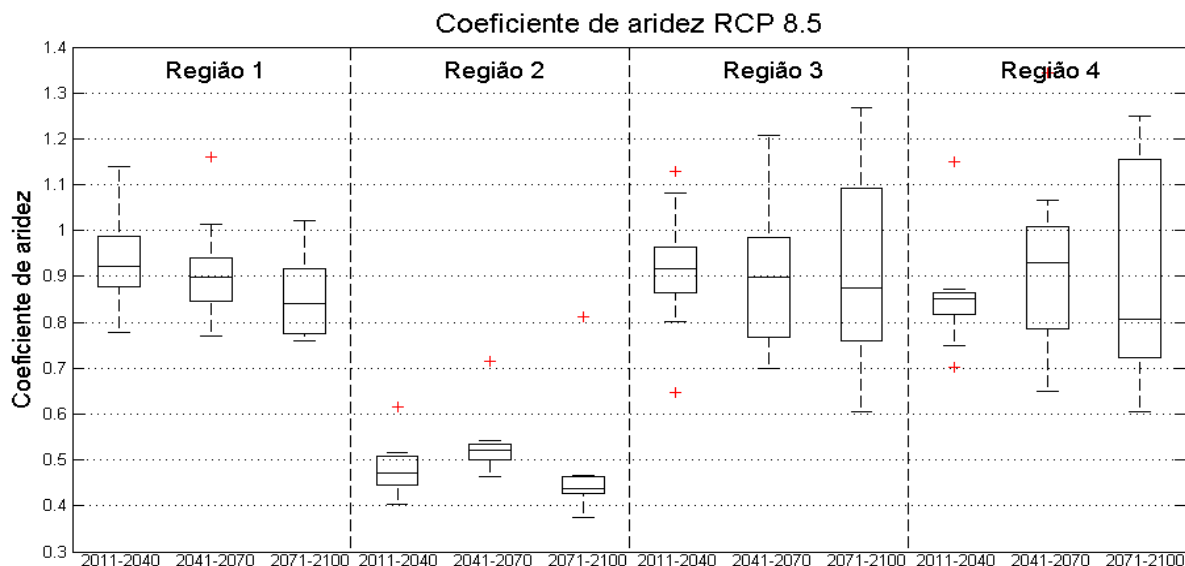


Figura 8 – Projeções do coeficiente de aridez segundo os modelos do cenário RCP 8.5.

Conforme visto na figura 7, para este cenário apresentado, não projetam-se mudanças de clima para as regiões 1, 3 e 4 considerando –se as medianas, mas salienta-se a proximidade de modelos quanto a uma mudança para um clima mais seco. Para a região 2, de acordo com as medianas, mantém-se a classe de clima atual. No entanto aponta modelos que se aproximam de um clima mais úmido no segundo período.

Ao mudar-se de cenário, como demonstrado na figura 8, as variabilidades entre os modelos aumentam ainda mais. Segundo as medianas, projeta-se uma diminuição do coeficiente de aridez para todas as regiões, ao comparar-se o primeiro período ao último no fim do século, mas não o suficiente para que ocorra uma mudança nas classes de clima. No entanto, levando-se em consideração os mínimos e máximos dos modelos, poderão ocorrer mudanças na classificação de clima de acordo com o Índice de Aridez para as regiões 3 e 4 no fim do século, passando de clima Sub-úmido e úmido para Sub-úmido e seco.

4 - CONCLUSÕES

Mediante ao que foi exposto, nota-se que os dados apresentados são alarmantes, pois demonstram no geral projeções de aumento de temperatura, evapotranspiração e climas mais secos e quentes para todas as regiões estudadas. Isso demonstra que os resultados instigam a um planejamento mais adequado quanto às estimativas de produção da cana-de-açúcar.

Caso as mudanças climáticas previstas ocorram, as técnicas de plantio devem se adequar para minimizar os impactos causados a cultura. Cada cultura possui uma demanda de água necessária para o seu crescimento, e a variação do coeficiente de aridez pode causar um stress excessivo na produção de cana-de-açúcar, já que esta planta está perfeitamente adaptada aos níveis atuais e demandaria tempo para adaptar-se às novas condições previstas. E isso poderá refletir de maneira direta na produção de etanol advindo desta biomassa, já que conforme a demanda desse biocombustível aumenta, também se faz necessário aumentar as fontes de extração.

Recomenda-se o detalhamento dessas séries temporais quanto às classes de clima conforme o Índice de Aridez, frisando uma possível mudança de classe para as regiões 3 e 4, onde estima-se ser as próximas regiões com plantios dessa cultura, de modo a incentivar pesquisas nessa área e a determinação de medidas políticas e sócio-ambientais que venham a auxiliar no processo de adaptação.

5 - BIBLIOGRAFIA

Billings, W. D. (1952). *“The environmental complex in relation to plant growth and distribution”*. The Quarterly Review of Biology, Chicago, v.27, n.3, p.251-264.

Caitano, R. F.; Lopes, F. B.; Teixeira, A. S.; *“Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica”*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8904.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - Resolução Conama nº 238. CONAMA, 1997.

Kohlhepp, G.; *“Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil”*. Estudos Avançados 24 (68), 2010.

Souza, M. J. H.; Ribeiro, A.; Leite, H. G.; Leite, F. P.; Minuzzi, R. B. (2006). *“Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais”*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.3, p.629–638.

UNESCO (1979). Aridity definition (UN documents), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, New York.
<http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publications/> Acesso em 09/08/2016