



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Impactos econômicos das mudanças climáticas sobre a indústria de sal marinho na principal região produtora do Brasil¹

Antonio Felipe de Paula Junior¹, Kellen Carla Lima², Maria Helena Constantino Spyrides²

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Atmosférica e Climáticas e Professor do Departamento de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (antoniofelipe@ufrnet.br). ²Professora do Departamento de Ciências Atmosférica e Climática, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (E-mail do autor correspondente: kellencarla@gmail.com). ²Professora do Departamento de Ciências Atmosférica e Climática, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (mhspyrides@gmail.com).

Artigo recebido em 06/03/2017 e aceito em 27/05/2017

RESUMO

O estado do Rio Grande do Norte (RN) se destaca como o maior produtor de sal marinho do Brasil, respondendo por mais de 95% desse tipo de sal produzido no país. Beneficiada pelas condições climáticas adequadas à atividade salina, a região produtora de sal marinho no RN compreendem os municípios de Areia Branca, Galinhos, Grossos, Guamaré, Macau, Mossoró e Porto do Mangue. Sendo a produção de sal marinho dependente de condições climáticas adequadas, convém problematizar sobre o impacto econômico das mudanças climáticas sobre a atividade salina no RN. Com efeito, o objetivo principal desse estudo foi estimar o impacto econômico das mudanças climáticas sobre a produção de sal marinho. Para isso, dados da produção de sal marinho para o período de 1992 a 2013 foram coletados do Anuário Estatístico Brasileiro, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto que informações sobre as variáveis climáticas foram produzidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Utilizou-se modelo de regressão linear múltipla por componentes principais calculadas a partir da matriz de correlação amostral das variáveis climáticas. Os resultados mostraram que as mudanças climáticas irão proporcionar impactos positivos sobre as receitas de vendas das indústrias de sal marinho no RN, em qualquer cenário de mudanças climáticas, variando o aumento médio anual sobre essas receitas de vendas de 9,1227% pelo cenário RCP2.6 a 16,5350% pelo cenário RCP8.5, sendo possível afirmar que a indústria de sal marinho no RN será beneficiada com as mudanças no clima.

Palavras-chave: variáveis climáticas; regressão linear; componentes principais.

Economic impact of climate change on the sea salt industry in Brazil's highest producing region

ABSTRACT

The State of Rio Grande do Norte (RN) stands out as Brazil's top sea salt producing region, accounting for more than 95% of the production in the country. Privileged with climatic conditions favorable to sea salt production, the major centers in RN include, Areia Branca, Galinhos, Grossos, Guamaré, Macau, Mossoró, and Porto do Mangue. Due to the dependence of sea salt production on climate conditions, it behooves researchers to investigate and problematize the economic impact of climate change on sea salt producing activities in RN. With this aim, the main objective of this study is to gauge the economic impact of climate change on sea salt production. To achieve this objective, data on sea salt production during the period between 1992 and 2013 were collected from the Brazilian Annual Statistics, published by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (*IBGE* in Portuguese), as well as information on climate variables produced by the National Institute of Meteorology (*INMET* in Portuguese). A multiple linear regression model was used with the main components calculated from the sample correlation matrix of climate variables. The results showed that climate changes will generate a positive impact on the income from sales in the sea salt industry in RN, in all of the climate change scenarios. The average annual increase in income from sales in this industry is

¹ Este artigo é parte integrante da Tese de Doutorado "Análises Estatísticas da Importância das Variáveis Climáticas para a Produção de Sal Marinho no Rio Grande do Norte/Brasil", a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Atmosférica e Climática, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

estimated at varying from 9.1227% in scenario RCP2.6 to 16.5350% in scenario RCP8,5, making it possible to affirm that the sea salt industry in RN will benefit from climate changes.

Keywords: climate variables; linear regression; principles components.

Introdução

O *Fifth Assessment Report* (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) reafirmou, com 95% de confiança, que o aumento na média da temperatura do planeta pode ultrapassar os 4,5°C (°C: graus Celsius) até o ano de 2100, dependendo do modelo de desenvolvimento econômico adotado pelas indústrias ao redor do mundo, se baseado em energia renovável ou combustíveis fósseis, e dos esforços das Nações para reduzir a concentração de gases do efeito estufa e atuarem para sua remoção da atmosfera, além de ações que visem reduzir o desmatamento de suas florestas.

Com base na quantidade de radiação solar acumulada por metro quadrado (W/m^2) pela superfície terrestre até o final do século XXI, o IPCC, utilizando modelos climáticos acoplado oceano-atmosfera (*Phase Five of the Coupled Model Intercomparison Project – CMIP5*), simulou quatro cenários de mudanças climáticas, o Representative Concentration Pathways 2,6; o Representative Concentration Pathways 4,5; o Representative Concentration Pathways 6,0 e o Representative Concentration Pathways 8,5.

O cenário mais otimista, o Representative Concentration Pathways 2,6 (RCP2,6), prevê armazenamento adicional de radiação solar de 2,6 watts por metros quadrados (W/m^2). Nesse caso, a temperatura média do planeta pode aumentar de 0,3°C a 1,7°C de 2010 a 2100. Para que esse cenário aconteça é necessário estabilizar as concentrações de gases do efeito estufa nos próximos 10 anos e atuar para sua remoção da atmosfera.

O segundo cenário, o Representative Concentration Pathways 4,5 (RCP4,5), prevê armazenamento de 4,5 W/m^2 . Nesse caso, a média da temperatura no planeta aumentaria entre 1,1°C a 2,6°C. No terceiro cenário, o Representative Concentration Pathways 6,0 (RCP6,0), o armazenamento previsto é de 6,0 W/m^2 , suficiente para elevar a média da temperatura terrestre entre 1,4°C a 3,1°C.

O pior cenário de mudanças climáticas projetado pelo IPCC, o Representative Concentration Pathways 8,5 (RCP8,5), caracterizado por aumento de emissões de gases do efeito estufa em ritmo acelerado, prevê armazenamento adicional de 8,5 W/m^2 . Nesse

cenário, a temperatura média do planeta aumentaria entre 2,6°C a 4,8°C.

Diversos estudos, combinando cenários climáticos, de produtividade agrícola, populacional e econômicos analisaram os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola e suas consequências no fornecimento de alimentos no século XXI, mostrando resultados variados em consequências dos diferentes modelos, cenários e dados de entrada utilizados (Parry et al. 2004; Fischer et al. 2005; Calzadilla et al. 2013 e Wiebe et al. 2015), são alguns exemplos.

Parry et al. (2004) analisaram as consequências globais para a produtividade das culturas, a produção e o risco de fome associados a cenários sócioeconômico e de mudanças climáticas. O estudo destaca várias não linearidade no sistema de abastecimento mundial de alimentos, tanto no sentido biofísico, quanto no sentido socioeconômico, no qual mudanças na dinâmica populacional, na economia e na estrutura política dificultam a tradução dos impactos das mudanças climáticas em índices sociais, tais com o número de pessoas em risco de fome.

Fischer et al. (2005) avaliaram o impacto no sistema alimentar mundial para o século XXI sob vários cenários de crescimento populacional, econômico e de mudanças climáticas. Os resultados mostraram efeitos assimétricos, em consequência das características socioeconômicas e climáticas de cada região, que podem aprofundar as atuais lacunas de produção e consumo entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

No mesmo sentido, Calzadilla et al. (2013) analisaram os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola global, mostrando os resultados queda na produção mundial de alimentos, bem como no bem-estar e no Produto Interno Bruto (PIB) global. Consequentemente, os resultados das análises apontam para elevação nos preços dos alimentos, em consequência de redução na oferta mundial.

Wiebe et al. (2015) analisaram os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura global, utilizando diversos cenários socioeconômicos e de emissões, mostrando os resultados sensibilidade dos cenários socioeconômicos e de emissões as mudanças climáticas. Impactos na produção agrícola aumentam em cenários de emissões altas e variam com as mudanças na população, renda e tecnologia, mas são reduzidos em todos os cenários

por causa de alterações endógenas dos preços e outras variáveis (Wiebe et al. 2015).

Estudos também abordam a problemática dos impactos das mudanças climáticas sobre atividade agrícola em nível local ou regional (Deschenes e Kolstad 2011, Calzadilla et al. 2013a, Marshall et al. 2015), são alguns exemplos. Marshall et al. (2015) analisaram os impactos biofísicos e econômicos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola nos Estados Unidos da América (USA), mostrando os resultados que embora a escassez de terras irrigadas exerça efeitos variados sobre o uso de terras cultiváveis, os impactos agregados sobre a produção nacional são menores em relação aos impactos biofísicos diretos das mudanças climáticas sobre o rendimento.

Deschenes e Kolstad (2011) estudaram o impacto econômico das mudanças climáticas sobre a agricultura na Califórnia. O estudo concluiu que as mudanças climáticas estão associadas a efeitos negativos sobre a agricultura. Por outro lado, Calzadilla et al. (2013a) analisaram a eficácia de dois cenários de adaptação possíveis as mudanças climáticas para a África Sub-Saariana. Mesmo não sendo a África Sub-Saariana um dos principais contribuintes para a produção global de alimentos, ambos os cenários poderão ajudar a reduzir os preços mundiais dos alimentos, estimulando os mercados de alimentos nacional e internacional.

Análises dos impactos das mudanças climáticas sobre atividades econômicas diferentes da atividade agrícola também têm sido analisados. Neumann et al., (2015) mostraram os riscos que as mudanças climáticas podem provocar sobre a infraestrutura norte-americana, especificamente os impactos sobre as rodovias, pontes, desenvolvimento costeiro e drenagem urbana.

Sohngen e Sedjo (2005) estudaram os impactos das mudanças climáticas sobre a indústria de madeira na América do Norte. Os resultados do estudo mostraram que as mudanças climáticas podem incrementar a produtividade de madeira na região.

Uma outra atividade econômica fortemente influenciada pelas condições climáticas e que tem sido esquecida pelos pesquisadores é a produção de sal marinho. Sua produção consiste no bombeamento da água salgada para tanques expostos a céu aberto, interligados entre si, de modo que a salmoura gerada no primeiro tanque seja transferida para o segundo e assim sucessivamente (Zhang et al., 1993; Korovessis e Lekkas, 2009; Korovessis, 2009). Quando a salmoura atinge 27,5°Be (°Be: graus Baumé), essa é transferida para os cristalizadores, local no qual ocorre a precipitação dos cristais de sal (Silva, 2001; Korovessis, 2009; Mani et al., 2012).

Estudos empíricos têm sugerido que a exposição dos evaporadores a temperaturas elevadas, horas de insolação e ventos naturais contribuem positivamente para a evaporação contínua da água salgada e para a formação dos cristais de sal (Jhala, 2006; Laganis e Debeljak, 2006; Mani et al. 2012). Temperaturas elevadas durante horas diárias aquecem a superfície da água provocando sua evaporação, enquanto que o vento se encarrega de fazer o transporte desse vapor, garantindo a continuidade do processo de evaporação (Moitta et al., 2005; Tamimi e Rawajfeh, 2006)

Ravizky e Nadav (2007) estudaram a produção de sal marinho a partir de salmouras geradas por usinas de *Sea Water Reverse Osmose* (SWRO) em Eilat, Israel. O estudo mostrou que a produção desse mineral é uma atividade lucrativa para os países do Golfo, na medida em que esses países apresentam condições climáticas favoráveis a essa atividade, tais como forte radiação solar e ventos constantes.

Para Zhang et al. (1993), condições meteorológicas tais como: intensidade da radiação solar, temperatura, velocidade do vento e umidade relativa exercem efeitos importantes sobre o processo de evaporação e, conseqüentemente, sobre o volume de sal produzido por evaporação solar. Na mesma direção, Mani et al. (2012) atribuíram o sucesso da produção desse mineral em Goa, Índia, à intensa radiação solar e ventos fortes.

Por outro lado, contribuindo negativamente para a produção de sal marinho destacam-se na literatura a umidade relativa e o volume de precipitação. Para Akridge (2008); Affam e Asamoah, (2011), melhores desempenhos para a indústria de sal marinho podem ser observados em regiões de latitudes baixas, nas quais baixa umidade relativa e baixo volume de precipitação são observados.

Alta taxa de umidade relativa reduz a temperatura enquanto que a precipitação contribui para aumentar o volume de água nos evaporadores e diluição da salmoura concentrada, retardando a formação dos cristais de sal. Nos dois casos, redução na taxa de evaporação será observada. Com efeito, redução no volume produzido de sal marinho também será observada.

Diniz (2013) estudando as condicionantes naturais que faz do RN, o maior produtor de sal marinho do Brasil, encontrou correlação negativa entre o volume de precipitação e o volume produzido desse mineral. A água da chuva contribui para a diluição da salmoura concentrada reduzindo o volume produzido de sal marinho (Laganis e Debeljak, 2006).

Embora raros, estudos experimentais têm buscado identificar relação entre variável climática e produção de sal marinho. Diaz et al. (2012) efetuaram estudo experimental em salinas tradicionais localizadas na Baía de Cádiz, no sul da Espanha. Os autores instalaram coletores termais parabólicos ligeiramente submersos à superfície da água para atuarem como permutadores de calor entre uma fonte externa de calor e a água salgada, observando o estudo aumento na taxa de evaporação e no volume produzido de sal marinho.

Outro estudo experimental foi efetuado por Moitta et al. (2005). Os autores construíram um modelo para um sistema industrial integrado com três unidades, dentre as quais uma unidade de cristalização de sal. Para essa unidade, duas simulações foram analisadas. A primeira, com uma temperatura do ar de 20,7°C; umidade relativa de 41,7% e velocidade do vento de 1,5 m/s e a segunda modificando apenas a velocidade do vento para 2 m/s.

Inicialmente com 4 (quatro) evaporadores, seguido de 5 (cinco) e finalmente, com 6 (seis), o estudo encontrou uma forte influência da velocidade do vento sobre a unidade de cristalização de sal, concluindo que em condições atmosféricas mais favoráveis (velocidade do vento de 2 m/s) a unidade necessita apenas de 4 evaporadores para operação eficiente, enquanto que com a velocidade do vento de 1,5 m/s, a taxa de evaporação é reduzida e as melhores condições operacionais se dão com 5 (cinco) evaporadores.

Considerada a primeira substância depois da água a despertar a atenção dos humanos (Korovessis, Lekkas, 2009), o acesso ao sal foi fundamental para o desenvolvimento de sociedades antigas (Connah 1991 e McKillop 1995). Estudos mostraram que a produção de sal pelo processo de evaporação da água do mar data do quarto milênio antes de Cristo (a.C.), na Europa (Oliver e Kovasic, 2006), e do primeiro milênio a.C, na China (Flad et al., 2005).

Atualmente, o volume total de sal marinho produzido com a energia do sol é responsável por mais de um terço de toda produção mundial de sal (Kasedde et al., 2012, Kasedde et al., 2014), e a presença do sal em mais de 14.000 produtos (Kilic e Kilic, 2005; Hough, 2008), mostra a importância desse mineral para a cadeia econômica global.

Assim, sendo a produção de sal marinho dependente de condições climáticas adequadas, mensurar o impacto econômico das mudanças climáticas sobre a produção desse mineral a partir de variáveis climáticas ganham importância, pois, mudanças climáticas previstas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) deverão afetar a indústria salineira que

utiliza o sol como fonte de energia para a produção de sal marinho.

O problema consiste em estimar o impacto que as mudanças climáticas irão provocar sobre a economia das indústrias de sal marinho no RN. Assim, convém perguntar: como as mudanças climáticas irão impactar economicamente a indústria de sal marinho na principal região produtora desse mineral no Brasil? Assumindo que as mudanças climáticas exercerão efeitos positivos sobre a economia salineira no RN, o objetivo principal desse estudo é estimar o impacto das mudanças climáticas sobre a economia das indústrias salineiras no RN.

Especificamente, a pesquisa efetua testes de correlação de Pearson entre cada variável climática e o volume produzido de sal marinho para calcular a importância de cada variável climática para a produção de sal marinho no Rio Grande do Norte. Para isso, estruturou-se a pesquisa em cinco seções, contando com essa introdução. Na seção dois, material e métodos utilizados na pesquisa são apresentados, na seção três, os principais resultados da pesquisa serão mostrados, na seção quatro será feita uma discussão dos resultados e, finalmente, a seção cinco traz a conclusão da pesquisa.

Material e métodos

A área de estudo dessa pesquisa compreende a região produtora de sal marinho no Estado do Rio Grande do Norte (RN), Brasil. O estado do Rio Grande do Norte (RN), localizado na região Nordeste do Brasil (NEB), é responsável por aproximadamente 95% do volume total de sal marinho produzido no Brasil. Os municípios de Areia Branca, Galinhos, Grossos, Guamaré, Macau, Mossoró e Porto do Mangue, localizados no polo da costa branco, litoral setentrional do RN, constituem o circuito do sal marinho no RN.

Com uma população estimada em 2015 de 380.000 habitantes ocupando uma área de aproximadamente 2.099 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE), esses municípios produziram juntos no ano de 2013, aproximadamente, 5,6 milhões de toneladas de sal marinho (Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM). A Figura 1 mostra a área de estudo. O período de referencia desse estudo compreende os anos de 1992 a 2013. Nesse período, a indústria de sal marinho no RN produziu, em média, 4,6238 milhões de toneladas de sal marinho por ano.

A importância da atividade salineira para o Estado do RN pode ser comprovada pelos números. A indústria salineira responde por mais de 15 mil empregos diretos e, considerando o multiuso do sal como matéria prima em diversas atividades industriais,

esse mineral é utilizado como produto primário em mais de 14.000 produtos (Kilic e Kilic, 2005; Hough, 2008), torna-se difícil estimar a quantidade de empregos gerados, indiretamente, em consequência dessa atividade.

A indústria salineira garante, ainda, a arrecadação de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para o Estado do RN, estando duas empresas do setor salineiro

incluídas entre as duzentas empresas que mais contribuem com ICMS para o RN. A receita proveniente de vendas internas e externas gerada pela indústria salineira no Estado contribui com aproximadamente 3,5% para a formação do Produto Interno Bruto (PIB) total do RN e sua exportação representa algo em torno de 25% do volume total que o Estado exporta (Marques et al. 2005; Angelim et al. 2007).

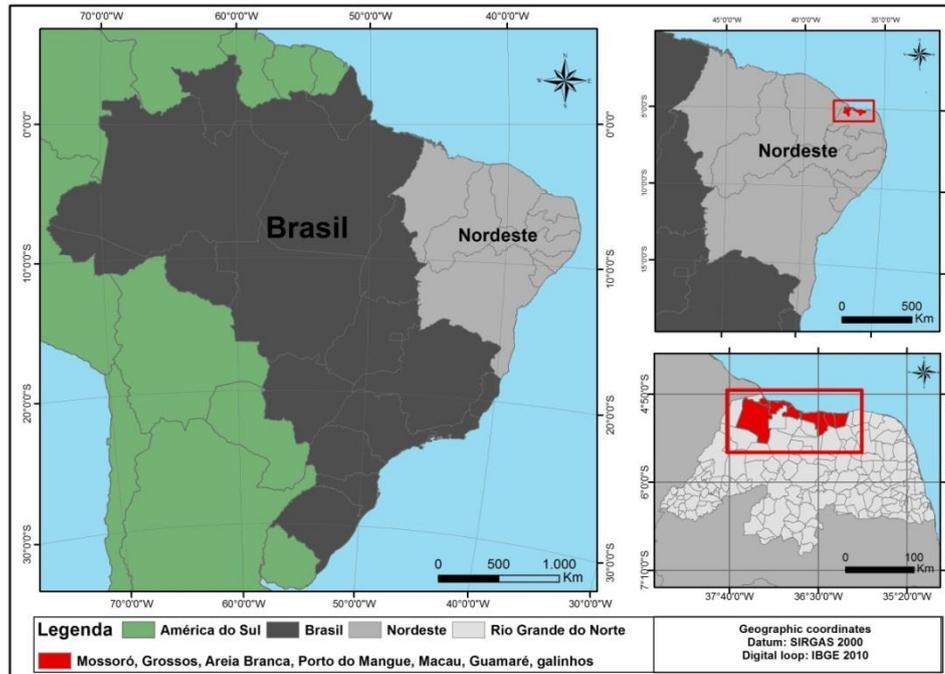


Figura 1: Localização geográfica da região produtora de sal marinho no Estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: IBGE.

Dados observados das variáveis climáticas referentes ao período de referência (1992 – 2013) foram coletados do banco de dados pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), enquanto que dados projetados do CMIP5 para o período de 2020 a 2100, de mudanças climáticas para a região Nordeste do Brasil (NEB), foram utilizados.

Para o volume produzido de sal marinho, informações foram coletadas do Anuário Estatístico Brasileiro, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Para o valor da tonelada de sal marinho, cotada em dólares norte-americanos, informações foram coletadas no sítio do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), enquanto que a cotação do dólar para 31 de dezembro de 2013 foi colhida no sítio do Banco Central do Brasil (BACEN).

Para estimar o impacto das mudanças climáticas sobre a produção de sal marinho optou-se pela análise de regressão linear múltipla. Essa técnica é uma metodologia estatística utilizada para estimar valores de uma variável resposta

(dependente) a partir de uma ou mais variáveis predictoras (independentes) (Johnson e Wichern, 2007, Saber e Lee, 2007).

Matematicamente, para k -variáveis independentes e n observações, a relação linear múltipla pode ser descrita pela Equação 1 (Saber e Lee, 2007, Ryan, 2009), na qual y_n é a observação da variável dependente para o n -ésimo indivíduo, $X_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})'$ são as variáveis independentes, β_k os parâmetros do modelo de regressão linear estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e ϵ_n o componente de erro aleatório, assumindo que esses erros seguem uma distribuição normal e são independentes com média zero a variância constante σ^2 .

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 x_{k1} + \beta_2 x_{k2} + \dots + \beta_k x_{kn} + \epsilon_n \quad (1).$$

O primeiro passo para resolver a Equação 1 consiste na calibração do modelo de regressão linear, no qual são estimados os parâmetros β_k que relacionam as variáveis independentes com a

variável dependente. Assim, a Equação 1 pode ser reescrita como segue: $y = X\beta + \epsilon$, na qual X tem ranque completo $p + 1$ e ϵ tem distribuição $N(0, \sigma^2 I)$. Então, o estimador de máxima verossimilhança para β é o mesmo que o estimador de mínimos quadrados $\hat{\beta}$ (Johnson e Wichern, 2007). É possível demonstrar que o estimador de mínimos quadrados é dado pela Equação 2, na qual $\hat{\beta}$ representa a matriz dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla, X a matriz das variáveis independentes e y a matriz da variável dependente.

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (2).$$

Para solucionar problemas referentes à multicolinearidade entre as variáveis explicativas, regressão linear por componentes principais foi utilizada. Algebricamente, as componentes principais são combinações lineares particulares de p variáveis aleatórias X_1, X_2, \dots, X_p . Geometricamente, essas combinações lineares representam a seleção de um novo sistema de coordenadas obtidas por rotação do sistema original, com X_1, X_2, \dots, X_p como eixos das coordenadas.

Os novos eixos representam as direções com máxima variabilidade além de representar a descrição da estrutura de covariância do sistema original (Johnson e Wichern, 2007). O número de componentes principais utilizadas no modelo de regressão linear múltipla foi definido pela proporção de variância acumulada dos dados originais explicada pelas $j - \acute{e}s$ imas componentes principais ($j < p$).

Assim, a $j - \acute{e}s$ ima componente principal, para $j = 1, 2, \dots, p$ e $i = 1, 2, \dots, p$, é definida pela

Equação 3, na qual Y_j é a $j - \acute{e}s$ ima componente principal, e_j são os autovetores normalizados e X_i é a matriz de vetores aleatórios das variáveis originais. A Equação 3 possibilita calcular o valor de cada componente principal a partir das variáveis originais. Note que, mudanças nas médias das variáveis originais X_i irão mudar o valor de cada componente principal.

$$Y_j = e_j' X_i \quad (3).$$

Resultados

A Tabela 1 mostra o coeficiente de correlação de Pearson calculado entre o volume produzido de sal marinho e cada variável climática, com seus respectivos valores p , ao nível de 5%. Nota-se correlação positiva (direta) entre o volume de sal marinho com as seguintes variáveis: velocidade do vento, evaporação, temperatura e horas de insolação. Assim, aumentos/reduções na média dessas variáveis irão provocar aumentos/reduções no volume de sal marinho.

Contrariamente, a Tabela 1 mostra correlação negativa (inversa) entre o volume de sal marinho com as seguintes variáveis: precipitação e evaporação. Com efeito, aumentos/reduções na média dessas variáveis irão provocar reduções/aumentos no volume de sal marinho, respectivamente.

Observa-se, ainda, que as variáveis: precipitação e umidade relativa não foram estatisticamente significativas ao nível de 5% (valores $p > 0,05$). No entanto, estudos existentes têm sugerido que a exposição de evaporadores a essas variáveis, contribui, negativamente, para reduzir o volume produzido de sal marinho.

Tabela 1: Coeficiente de correlação de Pearson entre o volume produzido de sal marinho e cada variável climática e seus respectivos valores p .

	Vento	Evaporação	Temperatura	Insolação	Precipitação	Umidade
Sal	0,4848	0,7271	0,7233	0,6010	-0,3982	-0,3248
valor p	0,0483	0,0001	0,0001	0,0030	0,0663	0,1402

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2 mostra a proporção de variância dos dados amostrais explicada por cada componente principal (CP_j , com $j = 1, 2, \dots, 6$), bem como a proporção de variância acumulada pelas $j - \acute{e}s$ imas componentes principais e o desvio padrão. Observa-se que as três primeiras componentes principais (CP_1, CP_2, CP_3) captam mais de 85% da variância total dos dados originais.

Na medida em que um dos objetivos da análise de componentes principais é captar a maior variância possível dos dados originais em um número reduzido de componentes principais, apenas essas três componentes principais foram utilizadas no ajuste do modelo de regressão linear múltipla por componentes principais.

Tabela 2: Variância individual, proporção de variância acumulada pelas j -ésimas componentes principais e desvio padrão.

	CP_1	CP_2	CP_3	CP_4	CP_5	CP_6
Proporção de variância (%)	0,526	0,179	0,127	0,079	0,064	0,025
Proporção de variância acumulada (%)	0,526	0,705	0,832	0,911	0,975	1,000
Desvio padrão	1,776	1,037	0,874	0,690	0,621	0,373

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 3 mostra os pesos exercidos pelas variáveis climáticas sobre cada componente principal. Os pesos representam a proporção de mudança no valor da componente principal em consequência de mudanças na média das variáveis climáticas. Assim, aumentos nas médias de variáveis que exerçam pesos positivos sobre a componente principal irão proporcionar aumentos no valor da componente principal, enquanto que aumentos, em valores absolutos, na média de variáveis que exercem pesos negativos sobre a componente principal irão provocar redução no valor da componente principal.

Assim, para a primeira componente principal, observam-se pesos positivos das variáveis: temperatura, evaporação, vento e insolação e, pesos negativos, das variáveis: precipitação e umidade relativa. Assim, aumentos nas médias das variáveis que exercem pesos positivos sobre a primeira componente principal, resultam em aumentos no valor dessa componente principal. Contrariamente, aumentos, em valores absolutos, nas médias das variáveis que exercem pesos negativos sobre a primeira componente principal, provocam redução no valor dessa componente principal.

Observa-se ainda que, para a segunda componente principal, apenas a variável velocidade do vento exerce peso positivo sobre essa componente principal. Assim, aumento na média da velocidade do vento implicará em aumento no valor da segunda componente principal. Por outro lado, as variáveis: temperatura, evaporação, insolação, precipitação e umidade relativa exercem pesos negativos sobre a segunda componente principal. Assim, aumentos, em valores absolutos, nas médias dessas variáveis implicarão em redução no valor da segunda componente principal.

Em relação a terceira componente principal, observa-se que apenas a variável insolação exerce peso positivo sobre essa componente principal. Dessa forma, pode-se afirmar que aumento na média dessa variável resultará em aumento no valor dessa componente principal. Contrariamente, as variáveis: temperatura, evaporação, velocidade do vento, precipitação e umidade relativa exercem pesos negativos sobre a terceira componente principal. Assim, aumentos, em valores absolutos, nas médias dessas variáveis, resultarão em redução no valor da terceira componente principal.

Tabela 3: Pesos exercidos pelas variáveis climáticas sobre cada componente principal.

	Temperatura	Evaporação	Vento	Insolação	Precipitação	Umidade
CP_1	0.380	0.380	0.235	0.494	-0.447	-0.458
CP_2	-0.505	-0.211	0.738	-0.221	-0.229	-0.230
CP_3	-0.211	-0.637	-0.467	0.259	-0.219	-0.458

Fonte: Elaborada pelos autores

Os resultados para os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos do modelo de regressão linear múltipla mostram, na Tabela 4, que não há evidências para rejeição da hipótese nula de normalidade e homocedasticidade dos resíduos ($valor p > 0,05$), sendo razoável afirmar que os resíduos do modelo seguem uma distribuição normal e são homocedásticos.

Para hipótese nula de independência dos resíduos, de acordo com o $valor p$, há evidências

para sua rejeição ($valor p < 0,05$). No entanto, de acordo com o valor tabelado da estatística *Durbin-Watson* - DW ($DW_L = 1,053 < DW = 1,056 < DW_U = 1,664$), para a hipótese nula de independência dos resíduos do modelo de regressão linear, não se tem como afirmar nada sobre a dependência ou independência dos resíduos do modelo de regressão linear múltipla.

Tabela 4: Resultado dos testes para a normalidade (Shapiro-Wilk), homocedasticidade (Breusch-Pagan) e independência (Durbin-Watson) dos resíduos.

Shapiro-Wilk		Breusch-Pagan		Durbin-Watson	
<i>W</i>	<i>valor p</i>	<i>BP</i>	<i>valor p</i>	<i>DW</i>	<i>valor p</i>
0,973	0,788	5,276	0,152	1,056	0,003

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim, para testar a hipótese nula de independência dos resíduos utilizou-se a função de autocorrelação serial dos resíduos para o modelo de regressão. A Figura 2 mostra o gráfico da função de autocorrelação serial para os resíduos do modelo

de regressão linear múltipla. Observa-se que não há evidência da existência de processo autoregressivo, sendo razoável afirmar que os resíduos do modelo são independentes.

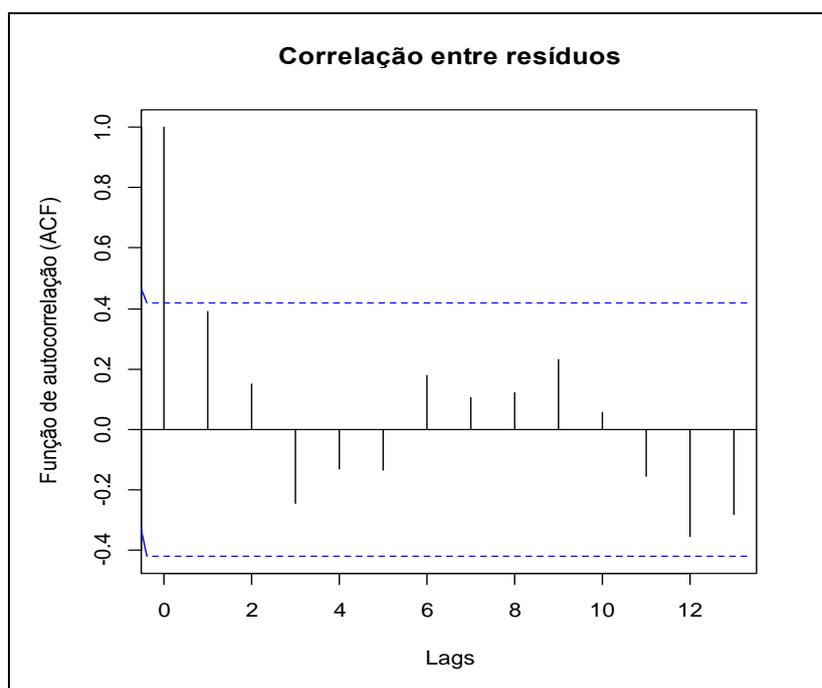


Figura 2: Função de autocorrelação serial dos resíduos do modelo de regressão linear múltipla. Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 5 mostra as estimativas dos parâmetros para o modelo de regressão linear múltipla para cada componente principal, estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Observa-se que, ao nível de 0,05; todos

os parâmetros foram estatisticamente significativos para o modelo de regressão linear múltipla por componentes principais.

Tabela 5: Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla por componentes principais calculados pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

	Parâmetros	Erro padrão	Valor p
Intercepto	4,623	0.070	< 0,001***
<i>CP</i> ₁	0,234	0.040	< 0,001***
<i>CP</i> ₂	-0,152	0.069	< 0.042*
<i>CP</i> ₃	-0,282	0.082	< 0,001***

Significância dos códigos: 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1. Fonte: Elaborada pelos autores

A Equação 4 representa o ajuste do modelo de regressão linear múltipla por componentes

principais. Observa-se que aumento no valor da primeira componente principal implicará em

aumento no volume estimado de sal marinho (\hat{y}). Contrariamente, aumentos, em valores absolutos, nos valores da segunda e terceira componentes principais implicarão em redução no volume estimado de sal marinho.

$$\hat{y} = 4.623 + 0.234 * CP_1 - 0,152 * CP_2 - 0.282 * CP_3 \quad (4).$$

Atendido os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos do modelo de regressão linear múltipla, esse pode ser adotado para inferências estatísticas. Consequentemente, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,733$ e valor $p < 0,001$, é

possível afirmar que o modelo tem poder para prever aproximadamente 73,3% do volume de sal produzido por evaporação solar no RN.

A Figura 3 mostra as variações na receita de vendas de sal marinho projetadas para o período de 2020 a 2100 em consequências de mudanças climáticas. Observa-se que a indústria de sal marinho será beneficiada com as mudanças climáticas em qualquer cenário, sendo que pelo cenário RCP8.5 não se observa, em nenhum ano, variação negativa nas receitas de vendas de sal marinho, em relação a média do período analisado.

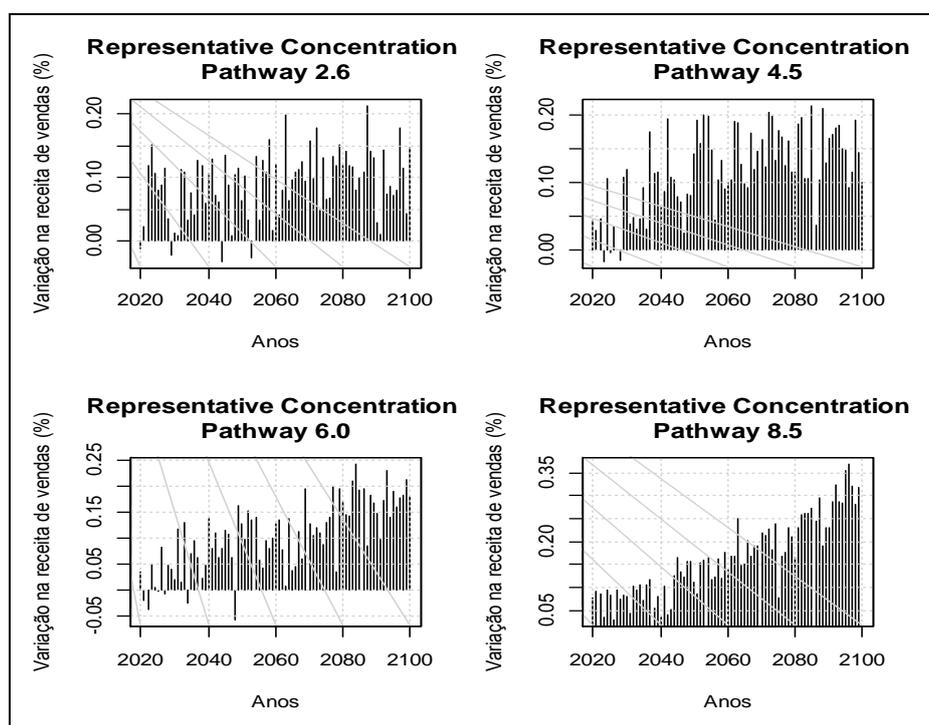


Figura 3: Variação percentual na receita de vendas de sal marinho, em relação a média do período estudado, projetada para até o final do século XXI, pelos quatro cenários de mudanças climáticas. Fonte: Elaborada pelos autores.

Discussão

Correlações positivas foram encontradas entre o volume produzido de sal marinho com a temperatura e horas de insolação. Sabe-se que a principal fonte de energia da indústria de sal marinho é a intensidade da radiação solar e sua duração (Akridge, 2008; Korovessis e Lekkas, 2009). O processo físico-químico consiste na troca de calor entre a energia do sol e a superfície da água salgada depositada em evaporadores expostos a céu aberto. Uma vez aquecida, a água entra em processo de evaporação até que os cristais de sal marinho precipitem. Assim, quanto mais durar e mais intensa for a temperatura, melhor desempenho terá a indústria de sal marinho (Akridge, 2008).

Correlações positivas também foram encontradas entre a produção de sal marinho com a evaporação e velocidade do vento. É por meio da evaporação que a água salgada, inicialmente bombeada, atinge seu ponto de saturação em termos de cloreto de sódio (NaCl) (Korovessis e Lekkas, 2009, Korovessis, 2009). Consequentemente, quanto maior for a taxa de evaporação mais rapidamente a água salgada atinge seu ponto de saturação em termos de NaCl e melhor será o desempenho da indústria salineira (Akridge, 2008, Korovessis e Lekkas, 2009).

Contribuindo para o processo, a velocidade do vento é responsável pela retirada da umidade que se forma acima da superfície da água armazenada nos evaporadores, em consequência do

processo de evaporação, permitindo, dessa forma, que esse processo seja contínuo (Zhang et al., 1993; Ertem, Engin e Ertem, 2001; Mani et al., 2012).

Por outro lado, correlação negativa entre o volume produzido de sal marinho com a precipitação e umidade relativa foi encontrada. Sabe-se que a precipitação aumenta o volume da água nos evaporadores e a taxa de umidade relativa do ar. No primeiro caso, a redução da salinidade dessa água será observada enquanto que no segundo caso, observa-se redução na temperatura. Consequentemente, um tempo maior para a água evaporar e atingir sua por de saturação em termo de NaCl será requerido.

Na mesma direção, a umidade relativa contribuiu negativamente para o volume produzido de sal marinho. Uma taxa alta de umidade relativa provoca redução na temperatura e, conseqüentemente, redução na taxa de evaporação será observada. Portanto, para um bom desempenho da indústria salinera uma baixa taxa de umidade relativa é requerida (Zhang et al., 1993, Akridge, 2008).

Pesos positivos exercidos pelas variáveis: temperatura, evaporação, velocidade do vento e horas de insolação sobre a primeira componente principal, sugerem que aumentos nas médias dessas variáveis resultarão em aumentos no valor da primeira componente principal. Com efeito, aumentos no valor da primeira componente principal resultarão em aumentos no volume estimado de sal por evaporação solar, de acordo com a Equação 4.

Assim, aumento na média da temperatura e nas horas de insolação irão provocar aumento no valor da primeira componente principal e, de acordo com a Equação 4, aumento no valor da primeira componente principal irá provocar aumento no volume estimado de sal marinho, sendo razoável afirmar, pela transitividade, que aumento de temperatura e horas de insolação provocará aumento no volume de sal marinho.

A temperatura é responsável pelo aquecimento da superfície da água nos evaporadores e conseqüente taxa de evaporação, enquanto que horas de insolação contribuem para manter a superfície da água nos evaporadores aquecida por um tempo mais longo, o que resulta em maior taxa de evaporação dessa água e maior volume produzido de sal marinho.

Diaz et al (2012), em estudo experimental, encontraram aumento na produção de sal em conseqüência de aumento na temperatura. Na mesma direção, estudos qualitativos têm sugerido que regiões com temperaturas elevadas, taxa de evaporação e horas de insolação favorecem a produção de sal marinho (Jhala, 2006; Laganis e

Debeljak, 2006; Ravizky e Nadav 2007; Mani et al. 2012).

Na mesma direção, aumentos na média da velocidade do vento e na taxa de evaporação irão proporcionar aumento no valor da primeira componente principal e, de acordo com a Equação 4, aumento no valor da primeira componente principal provocará aumento no volume estimado de sal marinho. Conseqüentemente, pode-se afirmar que aumentos na média da velocidade do vento e na taxa de evaporação irão provocar aumento no volume estima de sal marinho.

A velocidade do vento retira o vapor de água existente acima da superfície dos evaporadores, em conseqüência do processo de evaporação, permitindo, dessa forma, a continuidade desse processo (Zhang et al., 1993; Ertem et al., 2001; Mani et al., 2012). Estudo experimental efetuado por Moitta et all., (2005) mostrou que aumento da velocidade do vento resulta em aumento no volume de sal marinho. Estudos qualitativos também sugerem a velocidade do vento como fundamental para a produção de sal marinho (Zhang et al., 1993; Ertem et al., 2001; Mani et al., 2012).

Contrariamente, a Tabela 2 mostra pesos negativos exercidos pelas variáveis: precipitação e umidade relativa sobre a primeira componente principal, o que implica que aumentos (em valores absolutos) no valor dessas variáveis resultam em reduções no valor da primeira componente principal e, conforme Equação 4, redução no volume estimado de sal marinho será observado.

Assim, aumento, em valor absoluto, no volume anual de precipitação e na taxa de umidade relativa irá provocar redução no valor da primeira componente principal e, de acordo com a Equação 4, redução no valor da primeira componente principal provocará redução no volume estimado de sal marinho, sendo possível afirmar, pela transitividade, que aumento, em valor absoluto, no volume de precipitação e na taxa de umidade relativa provocará redução no volume de sal marinho.

A precipitação aumenta o volume da água existente nos evaporadores e a taxa de umidade relativa do ar, reduzindo a temperatura e a taxa de evaporação. Conseqüentemente, redução no volume produzido de sal marinho será observado. Diniz (2013) encontrou correlação negativa entre a produção de sal marinho e precipitação. O aumento da água existente nos evaporadores dilui a salmoura concentrada, reduzindo o volume produzido de sal marinho (Laganis e Debeljak, 2006).

Estudos qualitativos têm sugerido que melhores desempenhos para a indústria de sal

marinho são observados em regiões com baixo volume de precipitação e baixa taxa de umidade relativa (Zhang et al., 1993; Laganis e Debeljak, 2006; Akridge 2008; Affam e Asamoah, 2011).

Economicamente, o modelo estima para o período de 2020 a 2100, aumento anual, em média, de aproximadamente 0,4118 milhões de toneladas de sal marinho pelo cenário RCP2,6. Essa variação no volume estimado de sal marinho irá proporcionar aumento médio anual nas receitas com vendas desse mineral de 9,1227%. Pelo cenário RCP4,5; o aumento médio anual estimado será de 0,5374 milhões de toneladas de sal marinho que irá representar, aproximadamente, 11,6233% de incremento médio anual nas receitas das indústrias de sal marinho.

Outro cenário, o RCP6,0; a projeção média para o período será de 0,4800 milhões de toneladas de sal marinho que incrementará aumento médio anual nas receitas de vendas para a indústria de sal marinho de, aproximadamente, 10,3829%. O pior cenário de mudanças climáticas, o RCP8,5; será o que irá proporcionar melhor desempenho à indústria de sal marinho. Por esse cenário, a média estimada de sal marinho anualmente pelo modelo para o período de 2020 a 2100 será de 0,7645 milhões de toneladas desse mineral que representará, aproximadamente, aumento médio anual de 16,5350% nas receitas de vendas das indústrias de sal marinho no RN.

Conclusão

A produção de sal marinho é uma das atividades econômica fortemente relacionada com a história da humanidade. Melhores desempenhos para essa atividade são observados em regiões com temperaturas elevadas e duradouras, ventos constantes, alta taxa de evaporação, baixo volume acumulado de precipitação anual e baixa taxa de umidade relativa. Estimar o impacto econômico das mudanças climáticas sobre a produção de sal marinho no RN foi o objetivo principal desse estudo. A técnica estatística utilizada no estudo foi regressão linear múltipla por componentes principais, adotando como variável dependente (resposta) o volume produzido anualmente de sal marinho produzido no RN e, como variáveis independentes (explicativas), as componentes principais calculadas a partir da matriz de correlação amostral das variáveis climáticas: temperatura, velocidade do vento, evaporação, horas de insolação, precipitação e umidade relativa. Os resultados mostraram que os impactos econômicos das mudanças climáticas sobre a atividade salineira no Rio Grande do Norte serão positivos em qualquer cenário de mudanças

climáticas projetados pelo IPCC para até o final do século XXI. No cenário RCP2,6 observou-se que as mudanças climáticas projetadas para o século XXI irão impactar positivamente a receita de vendas em aproximadamente 9,1227% por ano, enquanto que pelo cenário RCP8,5; pior cenário projetado de mudanças climáticas, esse impacto positivo será de aproximadamente 16,5350% anualmente, sendo possível afirmar que a atividade salineira que utiliza o sol como fonte de energia será uma das atividades econômica beneficiada com as mudanças climáticas projetadas pelo IPCC para o final do século XXI.

Referências

- Affam, M., Asamoah, D. N., 2011 Economic potential of salt mining in Ghana towards the oil find. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 5, 448 – 456.
- Akridge, D. G., 2008. Methods for calculating brine evaporation rates during salt production. *Journal of Archaeological Science* 6, 1453 – 1462.
- Angelim, L. A. A., Nesi, J. R., Torres, H. H. F., Medeiros, V. C., Santos, C. A., Veiga Junior, J. P., Mendes, V. A., 2007. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte*. Disponível: http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_ri_o_grande_norte.pdf. Acesso: 14 maio 2015.
- BACEN. Banco Central do Brasil, 2016. Taxa de Câmbio. Brasília. Disponível: http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpe_sq.asp?id=txcotacao. Acesso: 28 dez. 2016.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Exportação, 2015. Brasília. Disponível: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sal-sumario-mineral-2014/view>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos, 2016. Brasília. Disponível: www.inmet.gov.br. Acesso: 14 mar. 2016.
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., Betts, R., Falloon, P., Wiltshire, A., Tol, R. S. J., 2013. Climate change impacts on global agriculture. *Climate Change* 1, 357-374.
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S. J., Ringler, C., 2013a. Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics* 93, 150-165.
- Connah, G., 1991 The salt of Bunyoro: seeking the origins of an African kingdom. *Antiquity* [online] 65, 479 – 494. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1017/S0003598X0008008X>. Acesso: 22 out 2015.

- Deschene, O., Kolstad, C., 2011. Economics impacts of climate change on California agriculture. *Climate Change* 1, 365-386.
- Díaz, R. B. F., Stewart, S. W., Brownson, J. R. S., 2012. Use of Concentrated Solar Thermal Energy Systems to Enhance Sea Salt Production in Southern Spain. Disponível: http://php.scripts.psu.edu/clubs/up/ases/papers/ASES2012_Diaz_Stewart_Brownson.pdf. Acesso: 14 jan. 2014.
- Diniz, M. T. M., 2013. Condicionantes socioeconômicos e naturais para a produção de sal marinho no Brasil: as particularidades da principal região produtora. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- Ertem, M. E., Engim, V. T., Ertem, H. I., 2001. Salt in Turkey. In: 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey 17, 635-641.
- Fisher, G., Shah, M., Tubiello, F. N., Van Velhizen, H., 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 1463, 2067-2083.
- Flad, R., Zhu, J., Wang, C., Chen, P., Von Falkenhausen, L., Sun, Z., Li, S., 2005. Archaeological and chemical evidence for early salt production in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online] 102, 12618 e 12622. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/235606909_Archaeological_and_chemical_evidence_for_early_salt_production_in_China. Acesso: 29 nov. 2015.
- Hough, J. K., 2008. Salt production in South Australia. *MESA Journal* [online] 50, 32-34. Disponível: http://www.pir.sa.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/93803/mj50_salt_production.pdf. Acesso: 12 jan. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2016. Anuário Estatístico do Brasil. Disponível: <http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=720>. Acesso: 24 jan. 2016.
- _____. Mapas Municipais. Disponível: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais.html>. Acesso: 14 dez. 2016.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change., 2014. Fifth Assessment Synthesis Report. Disponível : https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso: 22 jun. 2016.
- Jhala, D. S. Solar salt production process., 2006. In: First International Conference on the Ecological Importance Of Solar Saltworks. Anais 235-242. Disponível: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=7877>. Acesso: 12 jul. 2015.
- Johnson, R. A.; Wichern, D. W., 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis, 6. ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Kasedde, H., Kirabira, J. B., Bähler, M. U., Tilliander, A., Jonsson, S., 2012. A state of the art paper on improving salt extraction from lake katwe raw materials in Uganda. Disponível: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:559865/FULLTEXT01.pdf>. Acesso: 05 nov. 2014.
- Kasedde, H., Lwanyaga, J. D., Kirabira, J. B., Bähler, M. U., 2014. Optimization of Solar Energy for Salt Extraction from Lake Katwe, Uganda. *Global NEST Journal* 16, 1152-1168.
- Kilic, Ö., Kilic, A. M., 2005. Recovery of salt co-products during the salt production from brine. *Desalination* [online] 186, 11 – 19. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405006752>. Acesso: 16 jun 2014.
- Korovessis, N. A., 2009. The ninth international symposium on salt and the ecological importance of solar saltworks. *Global NEST Journal* 4, 406-414.
- Korovessis, N. A., Lekkas, T. D., 2009. Solar saltworks' wetland function. *Global NEST Journal* 1, 49-57.
- Laganis, J., Debeljak, M., 2006. Sensitivity analysis of the emergy flows at the solar salt production process in Slovenia. *Ecological Modelling* 194, 287 – 295.
- Mani, K., Salgaonkar, B. B., Das, D., Bragança, J. M., 2012. Community solar salt production in Goa, India. *Aquatic Biosystems* 30, 1-8.
- Marques, L. P., Cavalcanti. S. L. B., Nunes, B. T. S., 2005. Desenvolvimento do arranjo produtivo local da cadeia produtiva do sal marinho do Rio Grande do Norte. SEDEC/FIERN/SENAI/SEBRAE. Natal.
- Marshall, E., Aillery, M., Malcolm, S., Williams, R., 2015. The potential impacts of shifting regional water balances in the United States. *American Journal of Agricultural Economics* 2, 568-588.
- McKillop, H., 1995. Underwater archaeology, salt production and coastal Maya trade at Stingray Lagoon, Beliza. *Latin American Antiquity* [online] 6, 214 – 228. Disponível: https://www.jstor.org/stable/971673?seq=1#page_scan_tab_contents. Acesso: 22 set. 2015.

- Moita, R. D., Matos, H. A., Fernandes, C., Nunes, C. P., Prior, J. M., 2005. Dynamic modelling and simulation of a cogeneration system integrated with a salt recrystallization process. *Computes & Chemical Engineering* 6, 1491-1505.
- Neumann, J. E., Price, J., Chinowsky, P., Wright, L., Ludwig, L., Streeter, R., Jones, R., Smith, J. B., Perkins, W., Jantarasami, L., Martinich, J., 2015. Climate change risks to US infrastructure: impacts on roads, bridges, coastal development, and urban drainage. *Climate Change* 1, 97-109.
- Olivier, L., Kovacik, J., 2006. The 'Briquetage de la Seille' (Lorraine, France): proto-industrial salt production in the European Iron Age. *Antiquity* [online] 80, 558 – 566. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1017/S0003598X00094035>. Acesso: 14 out. 2015.
- Parry M. L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore, M., Fischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 1, 53–67.
- Raviszy, A., Nadav, N., 2007. Salt production by the evaporation of SWRO brine in Eilat: a success story. *Desalination* 205, 374-379.
- Ryan, T. P., 2009. *Modern Regression Methods*, 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Seber, G. A. F.; Lee, A. J. *Linear Regression Analysis*. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Silva, S. L. P., 2001. Uma análise da indústria salineira do Rio Grande do Norte baseada no modelo de estratégia competitiva de Porter. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Sonhgen, B., Sedjo, R., 2005. Impacts of climate change on forest product markets: implications for North American producers. *The Forestry Chronicle* 5, 669 – 674.
- Tamimi A., Rawajfeh K., 2006. Lumped modeling of solar-evaporative ponds from the water of the Dead Sea. *Desalination* 216: 356-366.
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., Van Der Mensbrugge, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Van Meijl, H., Willenbockel, D., 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters* 8, 1–15.
- Zhang, Y. Z., Ge, X. S., Li, Y. F., Li, C. D., 1993. Mathematical simulation of evaporating brine by solar radiation for the production of salt. *Journal of Thermal Science* 2, 143-151.