Boletim Gaúcho de Geografia

http://seer.ufrgs.br/bgg

ANÁLISE DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS PRESTADOS PELAS SALINAS SOLARES

Diógenes Félix Da Silva Costa, Renato De Medeiros Rocha, José Etham De Lucena Barbosa, Amadeu M.v.m. Soares e Ana Isabel Lillebo

Boletim Gaúcho de Geografia, 41: 206-220 , jan, 2014.

Versão online disponível em:
http://www.seer.ufrgs.br/index.php/bgg/article/view/42621

Publicado por
Associação dos Geógrafos Brasileiros

Portal de Periódicos
UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: portoalegre@agb.org.br
Políticas: http://seer.ufrgs.br/bgg/about/editorialPolicies#openAccessPolicy
Submissão: http://seer.ufrgs.br/bgg/about/submissions#onlineSubmissions
Diretrizes: http://seer.ufrgs.br/bgg/about/submissions#authorGuidelines

Data de publicação - jan, 2014.
Associação Brasileira de Geógrafos, Seção Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil

ANÁLISE DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS PRESTADOS PELAS SALINAS SOLARES[1]

DIÓGENES FÉLIX DA SILVA COSTA[1]
RENATO DE MEDEIROS ROCHA[1]
JOSÉ ETHAM DE LUCENA BARBOSA[2]
AMADEU M.V.M. SOARES[3]
ANA ISABEL LILLEBO[3]

RESUMO

As salinas são ecossistemas artificiais explorados para a extração de sal marinho, sendo compostos por uma série de tanques rasos e interconectados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade ou por bombeamento. Este trabalho teve como objetivo descrever os serviços ambientais prestados pelas salinas solares, tendo em vista a necessidade de se analisar mais a fundo as intrínsecas interrelações observadas nestes ecossistemas, do ponto de vista ecológico e econômico. Verificou-se que as salinas proporcionam uma série de serviços ambientais, sendo alguns deles tangíveis ou intangíveis, diretos ou indiretos. Com base na análise do uso integrado das salinas, foram evidenciados os principais serviços associados diretamente, além do principal serviço prestado por esse ecossistema que é a produção de sal sem custos adicionais de produção, onde outros serviços associados são de suma importância para o bem estar humano.

Palavras-chaves: Manejo de ecossistemas. Zonas úmidas. Ambientes hipersalinos. Produção de sal. Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

As salinas têm sido utilizadas pelo homem há milênios, onde as primeiras referências sobre a extração de sal a partir da água do mar foram da China,

1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Laboratório de Ecologia de Semiárido / Departamento de Geografia
Campus de Caicó, Rua Joaquim Gregório, sn, Bairro Penedo, CEP 59.300-000, Caicó-RN, Brasil. E-mails: diogenesgeo@yahoo.com.br / renatocaico@yahoo.com.br

2 Universidade Estadual da Paraíba. Laboratório de Ecologia Aquática / Departamento de Biologia. Av. das Baraúnas, 351, Bodocongó, 58100-001, Campina Grande-PB, Brasil. E-mail: ethambarbosa@hotmail.com

3 Universidade de Aveiro - Portugal. Departamento de Biologia & CESAM. Campus Universitário de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal. E-mails:asoares@ua.pt / lillebo@ua.pt

durante a dinastia do Imperador Huang, há 2.500 a.C. O procedimento usado era o mesmo utilizado nas salinas tradicionais de algumas partes da África, América do Sul e Oceania, consistindo em represar a água do mar em diques de argila e aguardar a precipitação de sal, com uma predominância de NaCl e alto conteúdo de sais de cálcio, magnésio, etc. (BAAS-BECKING, 1931).

Estes ambientes constituem ecossistemas artificiais de supramaré explorados para a extração de sal marinho, compostos por uma série de tanques rasos (20 – 200 cm) e interconectados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade ou por bombeamento. Ao longo desse circuito, esta água vai evaporando gradativamente, o que aumenta a saturação de sais até se atingir uma salmoura com saturação de 240 g.L-1 de sais, já no estágio final de cristalização do cloreto de sódio (PEDRÓS-ALIÓ et al., 2000).

As salinas solares têm sido estudadas extensivamente ao longo do globo a nível de dinâmica dos processos ecológicos e características biológicas, principalmente nos Estados Unidos, Austrália, Itália, China, Tunísia, Grécia, Espanha, Israel, México e Índia (TAKEKAWA et al., 2006; COLEMAN, 2009; GIORDANO e BEARDALL, 2009; HUAI-KE e GUAN-QIANG, 2009; KHEMAKHEM et al., 2010; KOROVESSIS e LEKKAS, 2009; LÓPEZ et al., 2010; OREN et al., 2009; ORTIZ-MILAN e DAVIS, 2009; RAHAMAN et al., 2009).

Embora diversas desses pesquisas venham cada vez mais balizando as salinas solares como ecossistemas de relevante interesse biológico e ecológico, especialmente com ênfase aos seres vivos extremófilos (OREN, 2002), evidenciou-se a necessidade em se descrever mais a fundo as intrínsecas interrelações observadas nas salinas solares, do ponto de vista ecológico e econômico. Esse ecossistema assume uma particularidade ímpar por conseguir atingir o "raro fenômeno" da integração entre a exploração sustentável de um sistema biológico, com uma biodiversidade típica de ambientes hipersalinos (DAVIS, 2000; OREN, 2009). Embora por um lado as salinas sejam conceituadas como um ecossistema hipersalino, por outro lado é exatamente o complexo mosaico constituído pelos diferentes habitats (evaporadores, concentradores e cristalizadores), que viabilizam uma importante atividade econômica (a produção de sal) (DAVIS, 2009).

Com relação ao sistema econômico, quando se analisa a produção de sal marinho em salinas solares do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, conclui-se que dentre as muitas atividades humanas (principalmente às de exploração mineral), esta é uma das que melhor assume um caráter de sustentabilidade na produção. Esta característica se deve ao fato de que a produção de sal utiliza tanto uma matéria prima 100% renovável (água do mar ou dos estuários), assim como também utiliza unicamente a energia solar (também 100% renovável) para promover a evaporação da água e, consequentemente, a formação dos cristais de halita (NaCl). Esta sustentabilidade ainda é balizada no fato de os gestores das salinas utilizarem unicamente

"sistemas biológicos" para auxiliar no processo produtivo.

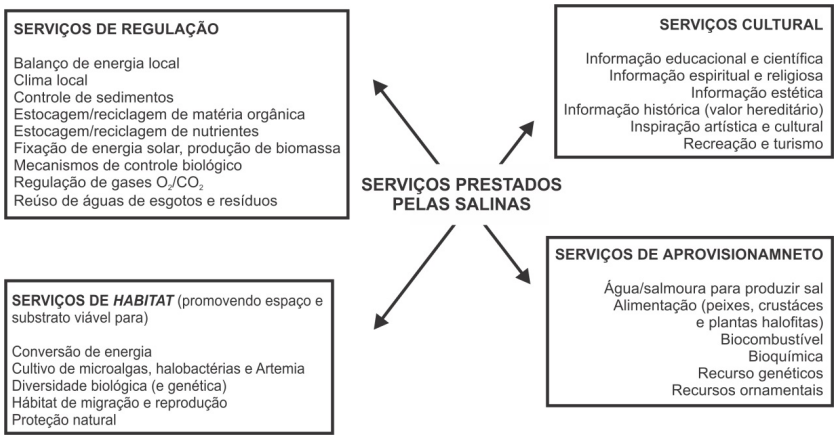
Com vistas em suprir a necessidade de se obter sistemas indicadores de sustentabilidade, muitos métodos de análise estão sendo cada vez mais propostos para se avaliar a sustentabilidade ambiental em diversos eixos da Economia, buscando-se integrá-la com a Ecologia (MOBERG e RÖNNBÄCK, 2003). Estes métodos de avaliação buscam sempre levar em consideração uma abordagem em fatores socioeconômicos e fatores ambientais/ecológicos (DIAMOND, 2005; MONTGOMERY, 2007), onde esta pesquisa teve como objetivo central identificar os serviços ambientais prestados pelas salinas solares.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida através de uma extensa revisão bibliográfica no intuito de se identificar os principais serviços ambientais gerados pelas salinas solares, buscando-se aprimorar uma fiel descrição de cada um. Como conceito chave do termo serviços ambientais, utilizou-se o aporte teórico elabotado pelo TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity working group), onde entende-se os serviços ambientais como sendo os benefícios que as pessoas obtêm de ecossistemas. Estes serviços foram agrupados em 04 categorias básicas: 1) serviços de provisão, que incluem a privisão de comida, água e outros recursos; 2) serviços de regulação, que seriam por exemplo a regulação da qualidade da água e do solo, controle de inundação, secas, degradação de áreas e doenças; 3) serviços de habitat ou suporte, pelo fato de os ecossistemas serem habitats para as espécies e manutenção de diversidade genética e 4) serviços culturais, que incluem os benefícios recreacionais, de saúde física e mental, turismo, apreciação estética e inspiração para a cultura, arte, além de experiências espirituais/religiosas, sentimento de lugar e outros benefícios não materiais (DE GROOT et al., 2002, 2010) (Fig. 1).

Com vistas em se obter um panorama global dos serviços prestados por estes ecossistema, foram selecionadas publicações relevantes que caracterizam as salinas solares em várias regiões salineiras ao longo do planeta: 1) Norte da África – Tunísia (ABID et al., 2008; KHEMAKHEM et al., 2010) e Egito (DARDIR e WALI, 2009), 2) Itália (GIORDANO e BEARDALL, 2009; ZENO, 2009), 3) Espanha (PEDRÓS-ALIÓ et al., 2000; JOINT et al., 2002; LÓPEZ et al., 2010), 4) Grécia (KOROVESSIS e LEKKAS, 2006; CRISMAN et al., 2009), 5) Israel (OREN et al., 2009; OREN, 2009), 6) Índia (FURTADO e FERNADES, 2009; RAHAMAN et al., 2009; MODASSIR e ANSARI, 2011), 7) China (DAVIS, 1990; HUAI-KE e GUAN-QIANG, 2009), 8) Austrália (COLEMAN e WHITE, 1993; COLEMAN, 2009), 9) Estados Unidos (JAVOR, 1989; DAVIS, 2000, 2009; TAKEKAWA et al., 2006), 10) México (ORTIZ-MILAN, 2009; ORTIZ-MILAN e DAVIS, 2009) e Brasil (COSTA et al., 2010; DE MEDEIROS ROCHA e CAMARA, 1993; DE MEDEIROS ROCHA et al., 2009, 2012).

Figura 1 – Descrição geral dos serviços ambientais prestados pelas salinas solares

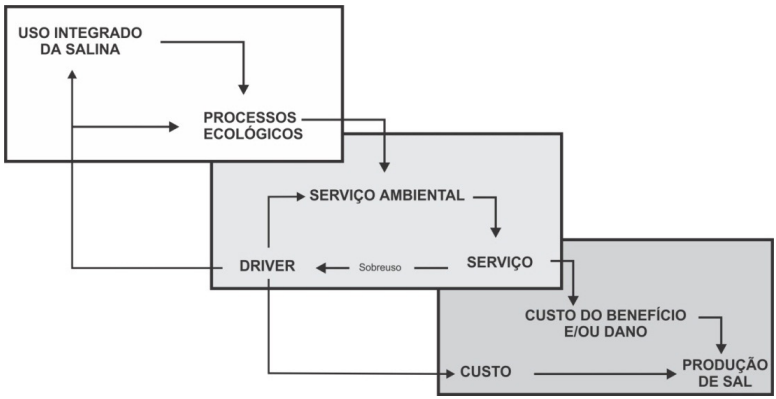


(adaptado de DE GROOT et al., 2010).

SERVIÇOS AMBIENTAIS PRESTADOS PELAS SALINAS SOLARES

Analisando-se do ponto de vista integrado, verificou-se que as salinas, assim como todos os ecossistemas, proporcionam uma série de serviços ambientais, sendo alguns deles tangíveis ou intangíveis, diretos ou indiretos, conforme os descritos conforme a classificação TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity working group (DE GROOT et al., 2002, 2010) (Fig. 1). Todavia, é necessário frisar que as salinas solares se apresentam como um sistema forçado (MARGALEF, 1983), cujo manejo é que proporciona os serviços acima mencionados. Todavia, é exatamente este manejo um fator chave para a gestão desse ecossistema, equilibrando interesses humanos (maior produção de sal) com a necessidade de conservar o ecossistema e assegurar seu equilíbrio (Fig. 2). Nestes termos, a partir deste tópico segue a relação e análise dos serviços gerados por estes ecossistemas hipersalinos, considerando-se o seu funcionamento temporário apenas em alguns meses do ano (países com clima temperado) ou contínuo ao longo de todo o ano (países com clima tropical).

Figura 2 – Estrutra de uso integrado da salina, relacionado os serviços ambientais prestados por esse ecossistema e a influência da intervenção humana no mesmo



(adaptado de GILBERT e JANSEN, 1998).

Provisão de estoque pesqueiro que sustenta diversas famílias através da pesca artesanal

O tema biodiversidade foi subdividido entre vários serviços ambientais pretados pelas salinas. Por captarem águas estuarinas ou diretamente no mar, a biodiversidade dos evaporadores iniciais das salinas é composta majoritariamente por espécies típicas destes ambientes. No caso específico do estoque pesqueiro, este é composto principalmente por peixes (e.g. *Anchovia* sp., *Elops saurus Linnaeus*, *Tachysurus* sp.), caranguejos (e.g. *Goniopsis cruentata* Latreille, *Callinectes exasperatus* Gerstaecke, *Ucides cordatus* Linnaeus) e camarões (e.g. *Penaeus aztecus subtilis* Perez-Farfant, P. *brasiliensis* Latreile), os quais são capturados durante a fase de larvas ou juvenis pelas fortes bombas de captação (FAUSTO FILHO, 1984).

Em virtude da extensa área inundada por esses evaporadores iniciais, do longo período em que grande parte destes ecossistemas já foram construídos (algumas com mais de 50 anos – COSTA, 2010), como também em função da constante salinidade, é evidente que estes ambientes podem ser considerados como habitats estáveis para o desenvolvimento de populações de peixes e crustáceos.

Esta biota é explorada através da pesca artesanal em todas as salinas, representando em muitos casos a única fonte de renda para muitas famílias. Além deste aspecto financeiro, o pescado também representa uma importante fonte de proteína animal para as famílias mais carenciadas.

Potencial uso para uma água eutrofizada sem necessitar de nenhum tratamento ou adicionamento de complemento químico

Conforme já evidenciado por diversos autores, existe uma tendência global para o aumento do nível trófico das zonas estuarinas (e.g. LILLEBØ et al., 2007; LOPES et al., 2007; RAMOS e SILVA, 2007; SILVA et al., 2009), as quais naturalmente já se caracterizam pela elevada produtividade. Considerando a multiplicidade dos diversos usos, é evidente que estas águas estuarinas ainda poderiam ser utilizadas para algumas atividades humanas, necessitando porém de alguma intervenção humana (tratamento), senda a aquacultura um dos usos mais referenciados.

Porém, considerando-se a perspectiva da sustentabilidade ambiental, as salinas solares configuram-se como um possível uso dessas águas estrofizadas para uma atividade econômica que não venha a trazer danos ao ambiente. Portanto, este se configura como um dos principas serviços prestados por esses ecossistemas, no sentido de que utilizam uma água rica em nutrientes que seria exportada para a zona costeira, sem necessitar de nenhum custo adicional de tratamento, além de não implicar em nenhum *output* para o ambiente.

Habitat estável para a biota estuarina

Outro serviço associado à manutenção da biodiversidade é a disponibilização de habitat alternativo para a biota estuarina. Em um cenário de intensa e constante alteração da zona costeira, verifica-se que os ecossistemas aquáticos litorâneos representam em muitos casos "elos" mais frágeis em resposta as mudanças que aí ocorrem. Esse fato é exacerbadamente marcado quando se considera a biodiversidade, principalmente zonas estuarinas. Nesse sentido, principalmente a eutrofização é um dos maiores responsáveis pela redução da biodiversidade, compromentendo o equilíbrio ecológico de toda a teia alimentar. Quanto a esse aspecto, as salinas assumem um relevante papel como habitat de refúgio e até mesmo como zonas exclusivas de pousio e alimentação (MASERO, 2003; TAKEKAWA et al., 2006; LÓPEZ et al., 2010).

Retenção de nutrientes impedindo a exportação de parte destes para a zona costeira

Conforme já comentado no item 3.1.2 sobre a utilização das águas estuarinas eutrofizadas para a produção de sal, ainda é possível identificar um outro serviço associado que diz respeito exatamente a retenção desses nutrientes no circuito das salinas (COLEMAN, 2009; OREN, 2009). Em uma breve análise sistêmica, pode-se verificar que as salinas se comportam como ambientes de acumulação de nutrientes que se encontram em forma dissolvida ou particulada nas águas do estuário.

Este serviço deve ser considerado como de extrema importância em função de crescente preocupação com a eutrofização da zona costeira, seguida de todos os efeitos danosos que este processo pode acarretar. Assim, ao funcionarem ao longo de todo o ano captando água eutrofizada dos estuários, as salinas representam zonas de acumulação de nutrintes, impendindo que parte destes venha de fato a contribuir com o processo de eutrofização da zona costeira.

Potencial para o cultivo associado de microalgas e *Artemia* sp.

Com o desenvolvimento da aquacultura de peixes e crustáceos, o uso do microcrustáceo Artemia (Branchiopoda, Anostraca) na dieta durante o estágio larval de muitas destas espécies cvultiváveis tornou-se largamente utilziado em função das facilidades de obtenção e alto valor nutricional (ZMORA et al., 2002). Os cistos de Artemia em estágio de dormência são disponíveis durante todo o ano em grandes quantidades ao longo das margens dos lagos hipersalinos e salinas solares nos cinco continentes (VAN STAPPEN, 2002). Depois de coletados e processados, estes cistos podem ser estocados de acordo com a demanda deste setor de alimentos. Todavia, a expansão da aquacultura vem elevando a demanda por cistos, excendo o suprimento do mercado, acarretando na elevação dos preços e transformando a Artemia em uma espécie de gargalo para o desenvolvimento da aquacultura global. Em casos particulares, muitos países desenvolvidos estão importando elevadas quantidades de cistos (GOUVEIA et al., 2009).

Nesse sentido, as salinas assumem um papel relevante na estratégia de produção, uma vez que, por tratar-se de um ser vivo típico da biota desses ecossistemas, o uso dos tanques evaporadores (uma fonte de energia verde e renovável) economizaria bastante energia, tempo e espaço ao invés de se construíem tanques específicos para o cultivo e produção de cistos de Artemia.

Outra vertente da aquacultura potencialmente explorável nas salinas se trata do cultivo de microalgas halofílicas e das halobactérias. Estas espécies florecem livremente nas salinas, sendo um fonte valiosa para a exploração de determinados compostos químicos. O produto mais importante obtido destas espécies é o β-caroteno, porém outro susos tem sido explorados, incluindo a produção de glicerol e a produção de biodiesel a partir da biomassa (OREN, 2002).

Por outro lado, o efeito positivo da presence de densas comunidades de espécies de halobactérias do gênero Archaea nos tanques cristalizadores das salinas já tem sido reconhecido ao longo de muitos anos (BAAS-BECKING, 1931; DAVIS, 1978). A coloração avermelhada em muitos cristalziadores se deve exatamente ao desenvolkvimento destas comunidades, associadas com cepas de Dunaliella, coloração esta que contribui para uma maior absorção de luz solar. Devido a esta maior absorção da energia solar por estes orgnismos, tem-se tem-se o aumento da temperatura da salmoura e, por conse-

quencia, um aumento da taxa de evaporação, aumentando a produção de sal (JAVOR, 1989, 2002; DAVIS, 2000).

Zonas de refúgio para aves aquáticas migratórias

Novamente no tema da biodiversidade, as salinas também representam zonas de refúgio para muitas espécies migratórias. Em um cenário de intensa ocupação da zona costeira, as salinas solares enquanto grandes ecossistemas aquáticos representam importantes zonas de refúgio para espécies de aves aquáticas migratórias, além de serem habitat para muitas espécies endêmicas destas ecossistemas hipersalinos (LÓPEZ et al., 2010). Ao longo do planeta, várias aves aquáticas utilizam as salinas como locais para alimentação, refúgio e reprodução. Esta gilda de espécies é uma dos pontos mais frequantemente considerados para assegurar a conservação e a valoração natural das salinas como zonas úmidas (PEREZ-HURTADO et al., 1993; MASERO, 2003; LÓPEZ et al., 2010).

Transformação de planície hipersalina em um rico e produtivo ecossistema

Um dos principais serviços ambientais prestados pela construção das salinas solares diz respeito a conversão das planícies de supramaré hipersalinas em ecossistemas aquáticos produtivos. Essa abordagem encontra-se balizada na perspetiva de que, em um a partir da ampla ocupação humana na zona costeira, a conversão de zonas inósticas em ecossistemas constitui-se em um alternativa para a conservação da biodiversidade, uma vez que a construção das salinas não implica em nenhuma alteração geotécnica ou geomorfológica no terreno, tão pouco de correção química do solo.

Microalgas e Artemia (biota halotolerante) atuando como filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura e interações tróficas na salina

Um dos elementos mais complexos para se avaliar dentro da complexidade do ecossistema da salina se trata dos impactos positivos e negativos produzidos pela biodiversidade encontrada no setor intermediário. Por um lado, as populações bentônicas de cianobactérias (mats) que se desenvolvem nesse setor das salinas efetivamente contribuem com a impermeabilização dos tanques, impedindo das perdas de salmoura por infiltração.

Este serviço deve ser avaliado por duas vertentes: 1) a salina enquanto atividade econômica não tem perdas de sua matéria prima, acarretando na constante necessidade de alimentação dos evaporadores (OREN, 2009); 2) este impedimento também propicia a redução de um potencial dano ambiental que poderia ser gerado através da salinização do lençol freático.

Por outro lado, em um cenário de distúrbio do ecossistema, as ciano-

bactérias que habitam o substrato e a interface substrato-coluna d'água, podem produzir massissas quantidades de muco polissacarídeo que aumenta a viscosidade da salmoura, dificultando o processo de evaporação (DE MEDEIROS ROCHA e CAMARA, 1993; DAVIS e GIORDANO, 1996; OREN, 2009).

O fato da Artemia ser encontrada no setor intermediário diz respeito a um dos principais serviços deste ecossistema, voltado exclusivamente para a atividade salineira. Este microcrustáceo atua realmente como uma espécie de filtro biológico da salmoura, uma vez que apresenta uma alimentação não-seletiva, alimentando-se de partículas de até 50 micrometros de diâmetro e, metabolizando grandes quantidades de matéria orgânica para dióxido de carbono.

A Artemia ainda atua diretamente da interação trófica ao longo da salina, onde seus restos mortais e suas fezes são incorporadas ao substrato bentônico, servindo de alimento altamente protéico para asa populações de halobactérias dos cristalziadores (DE MEDEIROS ROCHA e CÂMARA, 1993).

Em uma perspectiva ecossistêmica, diversas pesquisas demostram a estratificação da biodiversidade ao longo do circuita das salinas, onde a biomassa morta dos tanques é transferida para os demais. Nesse sentido, considerando-se que essa biodiversidade é constituída por halobactérias e microalgas halofílicas, verifica-se que esta sequência de transferência de salmoura também assegura a sobrevivência desses seres através do input com a matéria orgânica.

Esse processo se torna ainda mais imprescindível a partir do setor intermediário até mesmo os tanques de cristalização. A ocorrência de densas populações de Artemia sp. nos setores anteriores assegura esse input considerável de matéria orgânica para o setor dos concentradores e cristalizadores, cuja biomassa bacteriana halofílica depende substancialmente para o seu desenvolvimento (OREN, 2009).

A biota halofílica e a produção de sal

Representando um dos principais avanços na gestão das salinas solares, atualmente entende-se a extrema importância da biota halofílica (microalgas e halobactérias) na produção de sal. Estes seres são responsáveis por um aumento da temperatura da salmoura, além de servir de ponto de apoio para a a perfeita formação dos cristais de cloreto de sódio, assim como também remove as partículas dissolvidas na salmoura (OREN, 2009).

A coloração avermelhada se dá em função de uma membrana púrpura que ocorre em distintos pedaços de treliças hexagonais dentro da membrana plasmática. Nesta membrana existe uma proteína (bacteriorodopsina) que compreende 75% da membrana. Esta coloração nada mais é do que uma proteção da bactéria contra o excesso de radiação solar, propiciando uma maior absorção de energia da salmoura, elevando a temperatura (DAVIS, 2000; OREN, op. cit.).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando-se a sequência de serviços ambientais prestados pelas salinas, conclui-se que além do principal serviço ambiental prestado por esse ecossistema que é a produção de sal sem custos adicionais de produção, outros serviços associados são de suma importância para os seres humanos. Após essa análise, evidenciou-se claramente a constante necessidade da manutenção e manejo da biodiversidade, a qual está diretamente relacionada com um maior controle/aumento do processo de produção.

A partir deste levantamento bibliográfico, verificou-se que as salinas são sistemas integrados, tanto do ponto de vista ecológico, como também em uma abordagem mais ampla, pois são um dos raros exemplos em que o homem de fato consegue integrar a variável ecológica com a econômica. Essa formativa é observada pois, de um lado tem-se o ecossistema da salina, composto por um mosaico de habitats integrados, cuja salinidade é um dos principais agentes reguladores da biodiversidade encontrada em cada habitat. Por sua vez, é exatamente a logística da produção de sal marinho que implica nessa segmentação espacial de habitas, que apresentam como resposta imediata esse gradiente espacial da salinidade, até o setor final de produção (cristalizadores).

Assim, percebe-se que quando corretamente manejado, um sistema biológico estável típico de uma salina se traduz como uma ferramenta de auxílio à produção de sal, configurando-se neste caso como o principal serviço ambiental voltado exclusivamente a um importante mercado da economia: a produção de sal marinho por evaporação solar.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Ecologia do Semiárido (UFRN/CERES – Campus de Caicó), pelo apoio instrumental, nos trabalhos de campo e de gabinete. A CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa doutoral para o primeiro autor (Proc. BEX. 5834/10-4). Ao SIESAL (Sindicato da Indústria de Extração de Sal Marinho do Rio Grande do Norte), pelo apoio e incentivo às pesquisas nas salinas do Rio Grande do Norte.

ANALYSIS OF THE ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY SOLAR SALTERNS

ABSTRACT

Solar salterns are artificial ecosystems exploited for the extraction of marine salt, being composed of a series of shallow ponds and interconnected,

in which water from the sea / estuary is captured and transferred from one tank to another by gravity or by pumping. This study aimed to describe the ecosystems services provided by these environments, considering the need to further analyze the intrinsic interrelationships observed, the ecologically and economically. It was found that the salterns provide a range of ecosystems services, some of which are tangible or intangible, direct or indirect. Based on the analysis of the integrated use of the salterns, the main services directly associated were highlighted. The primary service provided by this ecosystem is the salt production, which does not involve additional production costs, and encompass other related services of paramount importance to human well-being.

Keywords: ecosystems management, wetlands, hypersaline environments, salt production, sustainability.

REFERÊNCIAS

ABID, O.; SELLAMI-KAMMOUN, A.; AYADI, H.; DRIRA, Z.; BOUAIN, A.; ALEYA, L. Biochemical adaptation of phytoplankton to salinity and nutrient gradients in a coastal solar saltern, Tunisia. **Estuarine, Coastal and ShelfScience**, v. 80, p. 391 – 400, 2008.

BAAS-BECKING, L.G.M. Historical notes on salt and salt-manufacture. **Scient Mon**., v. 32, p. 434-446, 1931.

COLEMAN, M.U.; WHITE, M.A. The role of biological disturbances in the production of solar salt. **7th Symp Salt**, v. 1, p. 623–631, 1993.

COLEMAN, M.J. Carbon Sequestration in Benthic Mats of Solar Ponds. In: ZUO-LIANG, S. (ed.). **Proceedings of the 9th International Symposium on Salt**. Vol. A. Beijing: Gold Wall Press, p. 765-775, 2009.

COSTA D.F.S. Análise fitoecológica do manguezal e ocupação das margens do estuário hipersalino Apodi-Mossoró (RN – Brasil). **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte/Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Natal, 2010, 75 p.

COSTA, D.F.S.; DE MEDEIROS ROCHA, R.; CÂNDIDO, G.A. Perfil de sustentabilidade e uso dos recursos naturais em salinas solares no estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN). In: CÂNDIDO, G. A. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e sistemas de indicadores de sustentabilidade**: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande - PB: Editora da Universidade Federal de Campina Grande, 2010, p. 401 - 426.

CRISMAN, T.L.; TAKAVAKOGLOU, V.; ALEXADRIDIS, T.; ZALIDIS G. Rehabilitation of abandoned saltworks to maximize conservation, ecotourism and water treatment potential. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, 24-31, 2009.

DARDIR, A.A.; WALI, A.M.A. Extraction of salts from Lake Quaroun, Egypt: environmental and economic impacts. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 106-113, 2009.

DAVIS, J. Biological communities of a nutrient enriched salina. **Aquat**. Bot., v. 4, p. 23-42, 1978.

DAVIS, J. Biological management for the nutrient-rich chinese solar saltworks. In: **Proceedings of the International Symposium on Biotechnology of Saltponds**, September 18-21, p. 128-132, 1990.

_____. Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks. **Glob. Nest J.**, v. 2, n. 3, p. 217 - 226, 2000.

_____. Management of biological systems for continuously operated solar saltworks. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 73-78, 2009.

DAVIS, J.S.; GIORDANO, M. Biological and physical events involved in the origin, effects, and control of organic matter in solar saltworks. **Int J Salt Lake Res**, v. 4, p. 335–347, 1996.

DE GROOT, R.S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, p. 260-272, 2010.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; CÂMARA, M.R. Prediction, monitoring and management of detrimental algal blooms on solar saltworks. In: Salt Institute (ed.), **Proceedings of the 7rd International Symposium on Salt**, April 6 - 9, 1992, p. 657-660, 1993.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; COSTA, D.F.S.; LUCENA FILHO, M.A. Tropical solar salt works - influence and challenges in the coexistence with traditional populations in the Brazilian northeast region. In: ZUOLIANG, S. (ed.). **Proceedings of the 9th International Symposium on Salt**. Vol. A. Beijing: Gold Wall Press, p. 877-881, 2009.

DE MEDEIROS ROCHA, R.; COSTA, D.F.S.; LUCENA-FILHO, M.A.; BEZERRA, R.M.; MEDEIROS, D.H.M.; AZEVEDO-SILVA, A.M.; ARAÚJO, C.N.; XAVIER-FILHO, L. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, p. 1 – 8, 2012.

DIAMOND, J. **Collapse**: how societies choose to fail or succeed. New York: Viking, 2005.

FAUSTO FILHO, J. Algumas observações bioecológicas dos moluscos, crustáceos e peixes das áreas de salinas dos municípios de Grossos, Areia Branca e Mossoro no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Ciên. Agron.**, v. 15, n. 1/2, p. 17-131, 1984.

FURTADO, I.; FERNADES, C.F.E. Traditional salt production in Goa India, enriches diverse microbial resource. In: ZUOLIANG, S. (ed.). **Proceedings of the 9th International Symposium on Salt**. Vol. A. Beijing: Gold Wall Press, p. 781-786, 2009.

GILBERT, A. J.; JANSSEN, R. Use of environmental functions to communicate the values of a mangrove ecosystem under different management regimes. **Ecological Economics**, v. 25, p. 323–346, 1998.

GIORDANO, M.; BEARDALL, J. Impact of environmental conditions on photosynthesis, growth and carbon allocation strategies of hypersaline species of Dunaliella. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 79-85, 2009.

HUAI-KE, W.; GUAN-QIANG, J. The utilization and environmental protection of Qinghai Salt Lake resource. In: ZUOLIANG, S. (ed.). **Proceedings of the 9th International Symposium on Salt**. Vol. B. Beijing: Gold Wall Press, p. 913-916, 2009.

JAVOR, B.J. Geology and Chemistry. In: JAVOR, B.J. (ed.). **Hypersaline environments -** microbiology and biogeochemistry. New York: Spinger-Verlag, 1989, p. 5-25.

_____. Industrial microbiology of solar salt production. **J. Ind. Microb. Biot.**, v. 28, p. 42–47, 2002.

JOINT, I.; HENRIKSEN, P.; GARDE, K.; RIEMANN, B. Primary production, nutrient assimilation and microzooplankton grazing along a hypersaline gradient. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 39, p .245–257, 2002.

KHEMAKHEM, H.; ELLOUMI, J.; MOUSSA, M.; ALEYA, L.; AYADI, H. The concept of ecological succession applied to phytoplankton over four consecutive years in five ponds featuring a salinity gradient. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 88, p. 33 – 44, 2010.

KOROVESSIS, N.A.; LEKKAS, T.D. Solar saltwork's wetland function. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 49-57, 2009.

LILLEBØ, A. I.; NETO, J. M.; MARTINS, I.; VERDELHOS, T.; LESTON, S.; CARDOSO, P. G.; FERREIRA, S. M.; MARQUES, J. C.; PARDAL, M. A. Management of a shallow temperate estuary to control eutrophication: the effect of hydrodynamics on the system nutrient loading. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 65, p. 697-707, 2005.

LOPES, C. M. B.; LILLEBØ, A. I.; DIAS, J. M.; PEREIRA, E.; VALE, C.; DUARTE, A. C. Organic carbon fluxes between Ria de Aveiro coastal lagoon and the Atlantic Ocean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 79, p. 751–757, 2008.

LÓPEZ, E.; AGUILERA, P.A.; SCHMITZ, M.F.; CASTRO, H.; PINEDA, F.D. Selection of ecological indicators for the conservation, management and monitoring of Mediterranean coastal salinas. **Environ. Monit. Assess.**, v. 166, n. 3, p. 241-256, 2010. DOI 10.1007/s10661-009-0998-2.

MARGALEF, R. **Limnología**. Barcelona: Omega, 1983, p. 871– 918.

MASERO, J. A. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, p. 1157–1173, 2003. doi:10.1023/A:1023021320448.

MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interaction, substitutions and restoration. **Ocean & Coastal Mangement**, v. 46, p. 27 – 46, 2003.

MODASSIR, Y.; ANSARI, A. Plankton community of the hypersaline salterns of Goa, India. **Biological Forum - An International Journal**, v. 3, n. 1, p. 78-81, 2011.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, p. 13268-13272, 2007. doi:10.1073/pnas.0611508104.

OREN, A.; SØRENSEN, K.B.; CANFIELD, D.E.; TESKE, AP.; IONESCU, D.; LIPSKI, A.; ALTENDORF, K. Microbial communities and processes within a hypersaline gypsum crust in a saltern evaporation pond (Eilat, Israel). **Hydrobiologia**, v. 626, p. 15–26, 2009.

OREN, A. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions. **Aquat. Microb. Ecol.**, v. 56, p. 193–204, 2009.

OREN, A. Solar salterns. In: _____. Halophilic microorganisms and their environments cellular origin - **Life in extreme habitats and astrobiology**, v. 5, n. 3, p. 441-469, 2002. DOI: 10.1007/0-306-48053-0_16

ORTIZ-MILAN, S.M. Project of recovery the biological conditions of the production system in saltworks of Industria Salinera de Yucatan S.A. de C.V. (ISYSA) damaged by the Hurricane Isidore in september of 2002. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 91-95, 2009.

ORTIZ-MILAN, S.M.; DAVIS, J.S. Behavior of the detrimental microorganisms for the solar salt production in the presence of a helpful population of brine shrimp in the ISYSA solar saltworks. In: ZUOLIANG, S. (ed.). **Proceedings of the 9th International Symposium on Salt**. Vol. A. Beijing: Gold Wall Press, p. 791-796, 2009.

PEDRÓS-ALIÓ, C.; CALDERÓN-PAZ, J. I.; MACLEAN, M. H.; MEDINA, G.; MARRASÉ, C.; GASOL, J. M; GUIXA-BOIXEREU, N. The microbial food web along salinity gradients. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 32, p. 143–155, 2000.

PEREZ-HURTADO, A.; HORTAS, F.; RUIZ, F.; SOLIS, F. Importancia de la Bahıa de Cadiz para las poblaciones de limıcolas invernantes e inuencia de las transformaciones humanas. **Ardeola**, v. 40, p. 133–142, 1993.

RAHAMAN, A.A.; AMBIKADEVI, M.; SOSAMMA-ESSO. Biological management of Indian solar saltworks. **7th Symp on Salt**, v. 1, p. 633–643, 1993.

RAMOS e SILVA, C.A.; OLIVEIRA, S.R.; RÊGO, R.D.P.; MOZETO, A.A. Dynamics of phosphorus and nitrogen through litter fall and decomposition in a tropical mangrove forest. **Mar. Environ. Res.**, v. 64, p. 524–534, 2007.

SILVA, A. M. A.; BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, P. R.; DE MEDEIROS ROCHA, R.; LUCENA FILHO, M. A.; COSTA, D. F. S. Zooplankton (Cladocera and Rotifera) variations along a horizontal salinity gradient and during two seasons (dry and rainy) in a tropical inverse estuary (Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 4, n. 2, p. 226-238, 2009.

TAKEKAWA, J.Y.; MILES, A.K.; SCHOELLHAMER D.H. et al. Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. **Hydrobiologia**, v. 567, p. 307–327, 2006.

VAN STAPPEN, G. Zoogeography: In: BEARDMORE, J. A.; CLEEG, J. S.; SORGELOOS, P. (ed.). **Artemia**: basic and applied biology. Netherlands/Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 171 - 224, 2002.

ZENO, C. The ecological importance of the Margherita Di Savoia saltworks. **Global NEST Journal**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2009.

ZMORA, O.; AVITAL, E.; GORDIN, H. Results of an attempt for mass production of Artemia in extensive ponds. **Aquaculture**, v. 213, p. 395–400, 2002.