

ENFERMIDADES VIRAIS EM LAGOSTAS DO GÊNERO *Panulirus*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Viral diseases in lobsters of the genus *Panulirus*: a systematic review

Ingrid Luana da Silveira Siqueira^{1,6}; Thays Andrade^{2,6}; Rafael dos Santos Rocha^{3,6}; Juliana de Carvalho Gaeta⁴; Rodrigo Maggioni^{5,6}

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, bolsista da Capes. ingrid_luanah@hotmail.com

² Graduanda em Oceanografia, Universidade Federal do Ceará, bolsista de Iniciação Científica CNPq. thaysandrade@alu.ufc.br

³ Técnico do Laboratório do CEDECAM, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará: rafaelsanro@ufc.br

⁴ Pesquisadora de Inovação Tecnológica da Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho. Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Fortaleza, CE, Brasil. jugaeta@gmail.com

⁵ Professor do Curso de Oceanografia Universidade Federal do Ceará (UFC). maggioni@ufc.br

⁶ Centro de Diagnóstico de Organismos Aquáticos (CEDECAM), Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil

RESUMO

Lagostas do gênero *Panulirus* são um importante recurso para a pesca mundial. No entanto, como todos os crustáceos marinhos, são acometidas por uma variedade de enfermidades causadas por vírus, bactérias e parasitas. O impacto das enfermidades sobre a disponibilidade desse recurso pesqueiro ainda é pouco estudado e é possível que seja magnificado pelas mudanças climáticas globais em curso. Esta revisão sistemática abordou as patologias virais que infectam lagostas do gênero *Panulirus*, tendo como objetivo compilar as informações acerca dos sinais clínicos dessas enfermidades, suas características nos tecidos dos animais infectados e as metodologias empregadas para o seu estudo. Até o momento, apenas um vírus específico de lagostas do gênero *Panulirus* foi identificado e descrito, o *Panulirus argus* vírus (*PaV1*). Além dele, já foi registrado nas lagostas espinhosas o vírus da mancha branca (WSSV), que causa uma enfermidade grave em camarões marinhos.

Palavras-chave: Palinuridae, WSSV, *PaV1*, crustáceos.

ABSTRACT

Lobsters of the *Panulirus* genus are an important resource for world fisheries. However, like all marine crustaceans, they are affected by a variety of diseases caused by viruses, bacteria and parasites. The impact of diseases on the availability of this fishery resource is still poorly studied, and it is possible that it is magnified by the ongoing global climate changes. This systematic review addressed the viral pathologies that infect lobsters of the genus *Panulirus*, aiming to compile information about the clinical signs of these diseases, their characteristics in the tissues of infected animals and the methodologies used for their study. So far, only one lobster virus, specific to *Panulirus* genus, has been identified and described, the *Panulirus argus* virus (PaV1). In addition to that, the White spot virus (WSSV), which causes a serious disease in marine shrimp, has already been recorded in spiny lobsters.

Keywords: *Palinuridae*, WSSV, PaV1, crustaceans.

INTRODUÇÃO

O declínio na produção de lagosta tem sido registrado em todo o mundo, podendo ser observado um decréscimo de 13,6% das exportações mundiais em 2019 (FAO, 2020). Com o aumento das mudanças climáticas e dos impactos antropogênicos, estima-se que o número de doenças que acometem organismos marinhos aumente (Marcogliese, 2008). Consequentemente, o efeito das doenças infecciosas sobre a ecologia populacional dos recursos pesqueiros poderá se intensificar nos próximos anos, com consequências sobre o manejo da pesca desses recursos (Cawthorn, 2011).

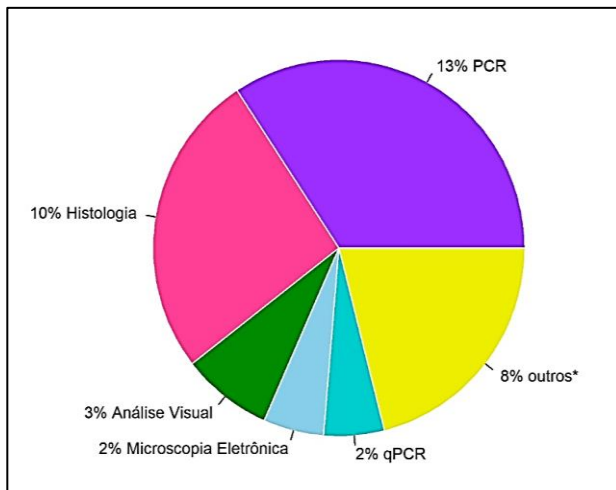
Lagostas podem ser acometidas por enfermidades de origem bacteriana, viral, fúngica e de protozoários (Shields, 2011). Os vírus de maior relevância em lagostas espinhosas são o *Panulirus argus* vírus (PaV1), encontrado na lagosta *P. argus*, e o vírus da síndrome da mancha branca (WSSV), que afeta o camarão marinho. O PaV1 causa uma enfermidade que demonstrou ser letal para juvenis de lagosta em sistemas de aquicultura experimental. Além disso, o vírus já foi detectado em populações selvagens com ocorrência na América do Norte e no Caribe (Shields, 2011). Já o WSSV foi identificado em lagostas de diferentes espécies do gênero *Panulirus*, porém apenas em ambiente de cultivo e induzidas de modo experimental (Shields, 2011). Esse vírus tem como reservatório um grande número de espécies de invertebrados e causa uma enfermidade grave em camarões marinhos, gerando grandes prejuízos econômicos em sistemas de cultivo (Flegel, 2012).

O presente trabalho trata de uma revisão sistemática a respeito das patologias virais que infectam lagostas do gênero *Panulirus*, tendo como objetivo compilar as informações acerca dos sinais clínicos dessas enfermidades, suas características nos tecidos dos animais infectados e as metodologias empregadas para o seu estudo.

METODOLOGIA

Através da metodologia PICO (População, Intervenção, Comparação e Desfecho) (Santos; Pimenta & Nobre, 2007), foram criadas duas perguntas que guiaram o desenvolvimento deste trabalho: 1) quais vírus infectam lagostas do gênero *Panulirus*? e 2) quais sinais clínicos essas enfermidades apresentam? A redação da revisão utilizou as diretrizes de 2009 do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher *et al.*, 2009).

Figura 2 – Métodos de diagnóstico utilizados para detecção de PaV1



Os sinais clínicos do vírus PaV1 facilitam a identificação em campo de organismos enfermos, tendo na hemolinfa leitosa e carapaça com coloração avermelhada as características-chave para identificação, o que facilita a coleta de amostras (Shields, 2011). Para o WSSV, até o momento, não houve relato de lagostas infectadas em seu *habitat* natural. No entanto, organismos infectados em laboratório apresentaram letargia, coloração escura na região dorsal, redução da natação e baixo consumo alimentar (Musthaq *et al.*, 2006).

Quadro 1 – Artigos que abordam a ocorrência de enfermidades causadas por vírus em lagostas do gênero *Panulirus* obtidos após revisão sistemática

Ano	Autores	Espécie	Local	Enfermidade	Transmissão	Sinais clínicos	Método de detecção
1998	Chang, Chen e Wang, 1998	<i>Panulirus versicolor</i> <i>Panulirus penicillatus</i>	Costa de Pintung, sul de Taiwan	WSSV	Infecção oral	Sem sinais clínicos evidentes	Hibridização <i>in situ</i> e PCR
1998	Wang <i>et al.</i> , 1998	<i>Panulirus ornatus</i> <i>Panulirus versicolor</i> <i>Panulirus longipes</i> <i>Panulirus penicillatus</i>	Costa de Pintung, sul de Taiwan	WSSV	Infecção oral	Sem sinais clínicos evidentes	PCR
1999	Rajendran <i>et al.</i> , 1999	<i>Panulirus ornatus</i> , <i>Panulirus homarus</i> <i>Panulirus polyphagus</i>	Índia	WSSV	Injeção intramuscular e infecção oral	Sem sinais clínicos	Histologia e Microscopia eletrônica
2004	Shields e Behringer, 2004	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	PaV1	Natural	Animais moribundos	Histologia e Microscopia eletrônica
2006	Li <i>et al.</i> , 2006	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	PaV1	Natural	Sem sinais clínicos	Histologia, PCR, Microscopia eletrônica, Hibridização <i>in situ</i>
2006	Musthaq <i>et al.</i> , 2006	<i>Panulirus homarus</i> <i>Panulirus ornatus</i>	Índia	WSSV	Injeção intramuscular e infecção oral	Letargia, baixa alimentação, coloração escura na região dorsal, redução da natação e baixos movimentos	PCR, Western blot e Histologia
2008	Butler, Behringer e Shields, 2008	<i>Panulirus argus</i> <i>Panulirus guttatus</i>	Flórida, USA	PaV1	Inóculo	Sem sinais clínicos	Histologia
2008	Li <i>et al.</i> , 2008	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	PaV1	Natural	Hemolinfa leitosa, descoloração avermelhada sobre as marcas claras da carapaça	Histologia, Hematologia e Análise bioquímica
2009	Huchin-Mian <i>et al.</i> , 2013	<i>Panulirus argus</i>	México	PaV1	Natural	Sem sinais clínicos	PCR
2011	Quintana, Canul e Martínez, 2011	<i>Panulirus argus</i>	Cuba	PaV1	Natural	Hemolinfa leitosa, visível entre o cefalotórax e abdômen. Coloração avermelhada no exoesqueleto	PCR e Histologia
2012	Behringer <i>et al.</i> , 2012	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	PaV1	Natural	Sem sinais clínicos	PCR

(continuação Quadro 1)

Ano	Autores	Espécie	Local	Enfermidade	Transmissão	Sinais clínicos	Método de detecção
2012	Briones-Fourzán <i>et al.</i> , 2012	<i>Panulirus argus</i>	Ascencion, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, visível entre o cefalotórax e abdômen. Coloração avermelhada no exoesqueleto	Visual
2012	Pascual-Jiménez <i>et al.</i> , 2012	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, descoloração avermelhada sobre as marcas claras da carapaça	Análise visual, PCR, Histologia e Parâmetros imunológicos
2012	Moss <i>et al.</i> , 2012	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	<i>PaV1</i>	Inóculo	Sem sinais clínicos	PCR
2013	Huchin-Mian <i>et al.</i> , 2013	<i>Panulirus argus</i>	Baía da Ascencion, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, descoloração avermelhada sobre as marcas claras da carapaça	Análise visual e PCR
2015	Lozano-Álvarez <i>et al.</i> , 2015	<i>Panulirus argus</i>	Península de Yucatan, México	<i>PaV1</i>	Natural	Sem sinais clínicos	PCR
2018	Clark <i>et al.</i> , 2018	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	<i>PaV1</i>	Natural		PCR
2019	Candia-Zulbarán, Briones-Fourzán e Lozano-Álvarez, 2019	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, descoloração avermelhada sobre as marcas claras da carapaça	PCR
2019	Herrera-Salvatierra <i>et al.</i> , 2019	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, descoloração avermelhada sobre as marcas claras da carapaça	PCR, Histologia, Imunológico e nutricional
2019	Ross, Behringer e Bojko, 2019	<i>Panulirus argus</i>	Flórida, USA	WSSV	Induzida - Injeção intramuscular	Sem sinais clínicos	Histologia e PCR
2020	Davies <i>et al.</i> , 2020	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa, visível entre o cefalotórax e abdômen	PCR
2020	Zamora-Briseño <i>et al.</i> , 2020b	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa e carapaça avermelhada	Proteômica, Histologia e qPCR
2020	Zamora-Briseño <i>et al.</i> , 2020a	<i>Panulirus argus</i>	Puerto Morelos Reef National Park, México	<i>PaV1</i>	Natural	Hemolinfa leitosa e carapaça avermelhada	qPCR, Histologia e Microbiota intestinal

PaV1

O *PaV1* é um vírus pertencente à nova família Mininucleoviridae, recentemente proposta, devido ao seu genoma pequeno de 70.886 pb (Genbank access. MN604017) e formato icosaédrico (Subramaniam *et al.*, 2020). Sua infecção pode ser observada em células do tecido conjuntivo, hialinócitos e semigranulócitos (Shields & Behringer, 2004). Sua prevalência é maior em juvenis de lagostas (Butler; Behringer & Shields, 2008), e organismos infectados tendem a ser evitados pelo restante da população, uma vez que mecanismos de quimiorrecepção parecem permitir a identificação de organismos enfermos pelos seus pares (Anderson & Behringer, 2013). Esse comportamento dificulta a dispersão do vírus na natureza (Behringer *et al.*, 2012).

A forma mais viável de dispersão do vírus seria através da circulação oceânica ou por pós-larvas infectadas. No entanto, a presença de portais (*gateways*), locais que permitiram a disseminação do vírus mais rápida para outros ambientes, principalmente devido a sua localização ser próxima a grandes correntes, pode ter facilitado a propagação do patógeno, permitindo sua disseminação mais rápida em localidades onde levariam um período maior para acontecer, como a costa oeste de Cuba e o nordeste do México (Kough *et al.*, 2015).

Em lâminas histológicas de hepatopâncreas de lagostas infectadas com *PaV1*, podem-se observar aumento no espaço entre os túbulos hepatopancreáticos e distorção do seio hemal, sendo a mortalidade devido à exaustão e anemia (Shields & Behringer, 2004; Li *et al.*, 2008). Células com alto grau de infecção apresentaram eosinofilia, inclusões de Cowdry tipo A, núcleos picnóticos e ausência de reserva de inclusão (Shields & Behringer, 2004). A infecção por *PaV1* no hepatopâncreas, hemócitos e seio hemal foi classificada quanto ao grau severidade (Shields & Behringer, 2004; Li *et al.*, 2008). O grau 0 (zero) identifica indivíduo saudável ou sem infecção, o grau 1 (um) equivale a levemente infectado, o grau 2 (dois) identifica indivíduos moderadamente infectados e o grau 3 (três) indica indivíduos fortemente infectados (Quadro 2).

WSSV

A síndrome da mancha branca é considerada uma das enfermidades de maior impacto econômico na produção mundial de camarão marinho (Flegel *et al.*, 2008). Essa patologia foi detectada inicialmente no leste da Ásia entre os anos de 1992 e 1993 (Flegel, 2012), vindo, posteriormente, a se dispersar por todos os continentes, causando significativas perdas econômicas no setor da carcinicultura (Verbruggen *et al.*, 2016). O seu agente etiológico, o WSSV, pertence ao gênero *Whispovirus* e à família Nimaviridae, na qual é o único representante. Apresenta DNA fita dupla circular e um dos maiores genomas conhecidos entre os vírus, com aproximadamente 300 kbp (Verbruggen *et al.*, 2016). A detecção do WSSV é bem estabelecida e pode ser realizada por diferentes métodos de diagnóstico, como PCR em tempo real, PCR convencional, histologia, hibridação *in situ* e testes rápidos (Dey *et al.*, 2020).

Não foram registradas, até o momento, ocorrências de WSSV em lagostas selvagens do gênero *Panulirus*. No entanto, análises histológicas de lagostas infectadas experimentalmente com WSSV mostraram células degeneradas com inclusões intranucleares e basofilia em tecidos de origem ectodérmica e mesodérmica (Mustaq *et al.*, 2006; Rajendran *et al.*, 1999). As brânquias foram o tecido no qual foi observada maior infecção pelo WSSV e o maior número de alterações celulares (Wang *et al.*, 1998; Chang; Chen & Wang, 1998; Rajendran *et al.*, 1999; Mustaq *et al.*, 2006). Observou-se também hipertrofia acentuada em hemócitos localizados nas lamelas branquiais e no intestino (Rajendran *et al.*, 1999).

Quadro 2 – Características do grau de infecção do *Panulirus argus* vírus 1 em lagostas do gênero *Panulirus*

Severidade (grau)	Características do diagnóstico molecular e histopatológico
Saudável (0)	PCR negativa Observação de tecidos saudáveis nas lâminas histológicas
Levemente (1) a moderadamente (2) infectado	PCR positiva Ausência de Cowdry A Presença de fagócitos fixos infectados Células infectadas no hepatopâncreas (1-100/por seção) Infiltração hemocítica Obstrução do seio hemal
Altamente infectado (4)	PCR positiva Hipertrofia nuclear Cromatina condensada Túbulos do hepatopâncreas atrofiados Granulomas Células infectadas (acima de 100 por seção) Presença de células infectadas em volta do tecido conjuntivo

DISCUSSÃO

Apesar de o gênero *Panulirus* compreender 42 espécies, apenas a espécie *Panulirus argus* possui estudos que abordam sua infecção viral com ocorrência natural (Atherley; Freeman & Dennis, 2020). A lagosta *P. argus* apresenta distribuição geográfica da Carolina do Norte até a Venezuela e sustenta uma das pescarias economicamente mais importantes da região (Giraldes & Smith, 2016). O *Panulirus argus* vírus (*PaV1*), que é considerado um vírus espécie-específico, por apresentar relatos de infecção apenas em lagostas da espécie *Panulirus argus*, foi encontrado apenas na Flórida, no mar do Caribe e Golfo do México (Butler; Behringer & Shields, 2008). A prevalência de *PaV1* em indivíduos juvenis pode variar entre 5% e 60% na Flórida (Behringer *et al.*, 2012) e entre 13,4% e 22,5% no México (Davies *et al.*, 2020). Ambientes recifais menores com presença de vegetação tendem a apresentar maior prevalência do vírus (Davies *et al.*, 2020). No entanto, a presença de refúgios artificiais ou “casitas” não foi considerado um fator que aumentasse a presença de indivíduos infectados (Briones-Fourzán *et al.*, 2012; Huchin-Mian *et al.*, 2013).

O *PaV1* é mais pontual na região do Caribe e suas adjacências. No entanto, não há trabalhos que abordem sua presença na América do Sul. A dispersão do vírus poderá ser tardia na América do Sul devido às correntes oceânicas ou pela fragilidade do capsídeo viral que se deteriora mais facilmente se presente fora do hospedeiro (Kough *et al.*, 2015). Além disso, foi sugerido recentemente que as lagostas previamente identificadas como *P. argus* na América do Sul pertencem na realidade a uma outra espécie, a *Panulirus meripurpuratus* (Giraldes & Smyth, 2016). Dessa forma, o vírus *PaV1* não infectaria esses organismos por ser um vírus espécie-específico (Butler; Behringer & Shields, 2008).

Sabe-se que o confinamento de organismos aquáticos em altas densidades torna o ambiente propício para o desenvolvimento e a disseminação de enfermidades, principalmente devido ao estresse crônico ao qual o animal é submetido e à facilidade de transmissão (Kibengen, 2016). Embora não haja cultivos expressivos de lagostas espinhosas ao redor do mundo, alguns estudos têm relatado que esses organismos podem ser susceptíveis à infecção por WSSV em condições de confinamento (Ross; Behringer & Bojko, 2019).

A presente revisão revela diversas lacunas de conhecimento a respeito de infecções virais em lagostas espinhosas. Há uma aparente negligência no estudo de patologias que afetam populações selvagens e estoques pesqueiros marinhos. As patologias de lagosta foram descritas há quase 20 anos e pouco se elucidou a respeito do motivo pelo qual o vírus *PaV1* afeta apenas lagostas da espécie *P. argus*, ou porque o WSSV não foi encontrado em lagostas no ambiente natural até o momento. Além disso, nota-se a ausência de estudos que verifiquem a presença de enfermidades relacionadas ao impacto da pesca sobre os estoques lagosteiros e quais medidas podem ser tomadas para mitigar o efeito desses fatores nas populações selvagens (Shields, 2009). A maior susceptibilidade de organismos juvenis pode se dar devido ao sistema imune mais frágil quando comparado ao indivíduo adulto, principalmente devido às suas sucessivas mudas (Behringer *et al.*, 2012), tornando o indivíduo mais susceptível aos vírus presentes no ambiente. Dessa forma, medidas de manejo devem ser utilizadas como estratégias para conservação e manutenção dos habitats costeiros a fim de permitir com que pós-larvas (puerulus) e juvenis de lagostas possam prosperar e contribuir para a reposição e manutenção dos estoques pesqueiros.

Grande parte dos vírus que infectam crustáceos é conhecida devido ao seu impacto na produção aquícola desses organismos. Logo, camarões e caranguejos são os invertebrados aquáticos que apresentam a maior quantidade de vírus identificados. A ausência do conhecimento completo da atuação desses vírus, como seu impacto na imunologia do hospedeiro, e seu sequenciamento completo dificultam sua identificação, principalmente em organismos selvagens (Bateman & Stentiford, 2017). Normalmente, estudos sobre infecções em organismos aquáticos selvagens são realizados de forma pontual, através da abordagem de uma infecção já conhecida na aquicultura, ou precisam ser acompanhados de altas mortalidades na população natural (Kibengen, 2016). No entanto, hoje em dia não é necessário que grandes perdas econômicas aconteçam para que se possa conhecer os vírus de lagostas. Estudos com

sequenciamento de nova geração (NGS) têm sido utilizados para analisar o viroma de organismos selvagens, abordando a descoberta da diversidade genética de vírus de DNA e RNA em diferentes espécies (Nkili-Meyong et al., 2017). Por exemplo, a partir do estudo do viroma realizado no camarão *Crangon crangon* foi possível identificar 16 novos vírus de DNA e RNA que se distribuíam em diferentes tecidos (Eynde et al., 2020). A disseminação desse tipo de técnica vem facilitando o sequenciamento de novos vírus, permitindo sua classificação e caracterização, o que, por sua vez, favorece a identificação de patógenos antes de sua disseminação e antes mesmo da ocorrência de surtos no meio ambiente. Em um cenário ideal, esse conhecimento facilita a tomada de medidas que mitiguem seu impacto nas populações selvagens e cultivadas, evitando impacto ambiental e perdas econômicas (Mokili; Rohwer & Dutilh, 2012).

CONCLUSÃO

Esta revisão procurou abordar os sinais clínicos das enfermidades transmitidas por vírus que infectam lagostas do gênero *Panulirus*, com destaque para PaV1 e WSSV, buscando evidenciar suas características nos tecidos dos animais infectados. A compilação dessas informações permitirá maior agilidade na detecção dessas enfermidades nas lagostas espinhosas da costa brasileira. A revisão ressaltou também o pouco que se sabe sobre patologias virais desse importante recurso pesqueiro do Nordeste brasileiro. Finalmente, identificou-se como potencial linha de pesquisa a exploração do viroma dessas espécies, uma vez que já dispomos do conhecimento e da infraestrutura necessários para o estudo de vírus emergentes, o que tem estado em evidência especialmente em face do estado de emergência sanitária que se instalou no Brasil a partir de março de 2020, causado pelo SARS-Cov2.

REFERÊNCIAS

- Anderson, J.R. & Behringer, D.C. Spatial dynamics in the social lobster *Panulirus argus* in response to diseased conspecifics. *Marine Ecology Progress Series*, v. 474, p. 191-200, 2013.
- Aria, M. & Cuccurullo, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- Atherley, N.A.M.; Freeman, M.A. & Dennis, M.M. Post-mortem examination of the Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*, Latreille 1804) and pathology in a fishery of the Lesser Antilles. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 175, 2020.
- Bateman, K.S. & Stentiford, G.D. A taxonomic review of viruses infecting crustaceans with an emphasis on wild hosts. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 147, p. 86-110, 2017.
- Behringer, D.C.; Butler, I.V.M.J.; Moss, J. & Shields, J.D. PaV1 infection in the Florida spiny lobster (*Panulirus argus*) fishery and its effects on trap function and disease transmission. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 69, p. 136-144, 2012.
- Briones-Fourzán, P.; Candia-Zulbarán, R.I.; Negrete-Soto, F.; Barradas-Ortiz C.; Huchin-Mian, J.P. & Lozano-Álvarez, E. Influence of local habitat features on disease avoidance by Caribbean spiny lobsters in a casita-enhanced bay. *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 100, p. 135-148, 2012.
- Butler, M.J.; Behringer, D.C. & Shields, J.D. Transmission of *Panulirus argus virus 1* (PaV1) and its effect on the survival of juvenile Caribbean spiny lobster. *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 79, p. 173-182, 2008.
- Candia-Zulbarán, R.I.; Briones-Fourzán, P. & Lozano-Álvarez, E. Confirming validity measures of visual assessment of PaV1 infection in Caribbean spiny lobsters. *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 137, p. 47-51, 2019.

- Cawthorn, R.J. Diseases of American lobsters (*Homarus americanus*): a review. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 106, p. 71-78, 2011.
- Chang, P.S.; Chen, H.C. & Wang, Y.C. Detection of white spot syndrome associated baculovirus in experimentally infected wild shrimp, crab and lobsters by in situ hybridization. *Aquaculture*, v. 164, n. 1-4, p. 233-242, 1998.
- Clark, A.S.; Behringer, D.C.; Small, J.M. & Waltzek, T.B. Partial validation of a TaqMan real-time quantitative PCR assay for the detection of *Panulirus argus* virus 1. *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 129, p. 193-198, 2018.
- Davies, C.E.; Briones-Fourzán, P.; Barradas-Ortiz, C.; Negrete-Soto, F.; Moo-Cocom, G. & Lozano-Álvarez, E. Do ecological characteristics drive the prevalence of *Panulirus argus* virus 1 (PaV1) in juvenile Caribbean spiny lobsters in a tropical reef lagoon? *PloS One*, v. 15, p. e0229827, 2020.
- Dey, B.K.; Dugassa, G.H.; Hinzano, S.M. & Bossier, P. Causative agent, diagnosis and management of White spot disease in shrimp: a review. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, n. 2, p. 822-865, 2020.
- Eynde, B. van; Christiaens, O.; Delbare, D.; Shi, C.; Vanhulle, E.; Yinda, C.K.; Matthijssens, J. & Smagghe, G. Exploration of the virome of the European brown shrimp (*Crangon crangon*). *Journal of General Virology*, v. 101, p. 651-666, 2020.
- Food and Agriculture Organization of the United States (FAO). GLOBEFISH highlights January 2020 ISSUE, with Jan. – Sep. 2019 Statistics – A quarterly update on world seafood markets. *Globefish Highlights*, Roma, n. 1-2020, 2020.
- Flegel, T.W. Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in Asia. *Journal of Invertebrate Pathology*, n. 110, p. 166-173, 2012.
- Flegel, T.W.; Lightner, D.V.; Lo Chu, F. & Owens, L. Shrimp disease control: past, present and future. *Diseases in Asian Aquaculture VI*, p. 355-378, 2008.
- Giraldes, B.W. & Smyth, D.M. Recognizing *Panulirus meripurpuratus* sp. nov. (Decapoda: Palinuridae) in Brazil - Systematic and biogeographic overview of panulirus species in the Atlantic ocean. *Zootaxa*, v. 4107, n. 3, p. 353-366, 2016.
- Herrera-Salvatierra, N.; Pascual-Jiménez, C.; Huchin-Mian, J.P.; Lozano-Alvarez, E.; Montero-Muñoz, J.; Briones-Fourzán, P. & Rodríguez-Canul, R. Nutritional and immunological evaluation of juvenile spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804) (Decapoda: Achelata: Palinuridae) naturally infected with the PaV1 virus. *Journal of Crustacean Biology*, n. 39, p. 162-171, 2019.
- Huchin-Mian, J.P.; Rodríguez-Canul, R.; Briones-Fourzán, P. & Lozano-Álvarez, E. *Panulirus argus* virus 1 (PaV1) infection prevalence and risk factors in a Mexican lobster fishery employing casitas. *Diseases of Aquatic Organisms*, n. 107, p. 87-97, 2013.
- Jiménez, C.P.; Huchin-Mian, J.P.; Simões, N.; Briones-Fourzán, P.; Lozano-Álvarez, E.; Arteaga, A.S. & Rodríguez-Canul, R. Physiological and immunological characterization of Caribbean spiny lobsters *Panulirus argus* naturally infected with *Panulirus argus* Virus 1 (PaV1). *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 2, n. 100, p. 113-124, 2012.
- Kibenge, F.S.B. Determinants of emergence of viral diseases in aquaculture, p. 95-116, in Kibenge, F.S. & Godoy, M. *Aquaculture virology*. Academic Press, 2016.
- Kough, A.S.; Paris, C.B.; Behringer, D.C. & Butler, M.J. Modelling the spread and connectivity of waterborne marine pathogens: the case of PaV1 in the Caribbean. In *ICES Journal of Marine Science*. Oxford University Press, p. i139-i146, 2015.

- Li, C.; Shields, J.D.; Ratzlaff, R.E. & Butler, M.J. Pathology and hematology of the Caribbean spiny lobster experimentally infected with *Panulirus argus virus 1 (PaV1)*. *Virus Research*, v. 132, p. 104-113, 2008.
- Li, C.; Shields, J.D.; Small, H.J.; Reece, K.S.; Hartwig, C.L.; Cooper, R.A. & Ratzlaff, R.E. Detection of *Panulirus argus Virus 1 (PaV1)* in the Caribbean spiny lobster using fluorescence in situ hybridization (FISH). *Diseases of Aquatic Organisms*, n. 72, v. 3, p. 185-192, 2006.
- Lozano-Álvarez, E.; Briones-Fourzán, P.; Huchin-Mian, J.P.; Segura-García, I.; Ek-Huchim, J.P.; Améndola-Pimenta, M. & Rodríguez-Canul, R. *Panulirus argus virus 1* detected in oceanic postlarvae of Caribbean spiny lobster: implications for disease dispersal. *Diseases of Aquatic Organisms*, n. 117, p. 165-170, 2015.
- Marcogliese, D.J. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. *Rev. Sci. Tech.*, n. 27, v. 2, p. 467-484, 2008.
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; Altman, D.; Antes, G.; Atkins, D.; Barbour, V.; Barrowman, N.; Berlin, J.A.; Clark, J.; Clarke, M.; Cook, D.; D'Amico, R.; Deeks, J.J.; Devereaux, P.J.; Dickersin, K.; Egger, M.; Ernst, E.; Gøtzsche, P.C.; Grimshaw, J.; Guyatt, G.; Higgins, J.; Ioannidis, J.P.A.; Kleijnen, J.; Lang, T.; Magrini, N.; McNamee, D.; Moja, L.; Mulrow, C.; Napoli, M.; Oxman, A.; Pham, B.; Rennie, D.; Sampson, M.; Schulz, K.F.; Shekelle, P.G.; Tovey, D. & Tugwell, P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.
- Mokili, J.L.; Rohwer, F. & Dutilh, B.E. Metagenomics and future perspectives in virus discovery. *Current Opinion in Virology*, n. 2, p. 63-77, 2012.
- Moss, S.M.; Moss, D.R.; Arce, S.M.; Lightner, D. & Lotz, J.M. The role of selective breeding and biosecurity in the prevention of disease in penaeid shrimp aquaculture. *Journal of Invertebrate Pathology*, n. 110, p. 247-250, 2012.
- Musthaq, S.; Sudhakaran, R.; Balasubramanian, G. & Sahul Hameed, A.S. Experimental transmission and tissue tropism of White spot syndrome virus (WSSV) in two species of lobsters, *Panulirus homarus* and *Panulirus ornatus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, n. 93, p. 75-80, 2006.
- Nkili-Meyong, A.A.; Bigarré, L.; Labouba, I.; Vallaeys, T.; Avarre, J.C. & Berthet, N. Contribution of next-generation sequencing to aquatic and fish virology. *Intervirology*, n. 59, p. 285-300, 2017.
- Pascual-Jiménez, C.; Huchin-Mian, J.P.; Simões, N.; Briones-Fourzán, P.; Lozano-Álvarez, E.; Sánchez-Arteaga, A.; Pérez-Vega, J.A.; Simá-Álvarez, R.; Rosas Vazquez, C. & Rodríguez-Canul, R. Physiological and immunological characterization of Caribbean spiny lobsters *Panulirus argus* naturally infected with *Panulirus argus Virus 1 (PaV1)*. *Diseases of Aquatic Organisms*, n. 100, p. 113-124, 2012.
- Quintana, Y.C.; Canul, R.R. & Martínez, V.M.V. First evidence of *Panulirus argus Virus 1 (PaV1)* in spiny lobster from Cuba and clinical estimation of its prevalence. *Diseases of Aquatic Organisms*, n. 93, p. 141-147, 2011.
- Rajendran, K.V.; Vijayan, K.K.; Santiago, T.C. & Krol, R.M. Experimental host range and histopathology of White spot syndrome virus (WSSV) infection in shrimp, prawns, crabs and lobsters from India. *Journal of Fish Diseases*, v. 3, n. 22, p. 183-191, 1999.
- R Core Team. R: a language and environment for statistical computing v. 3.6. 1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019). *Scientific Reports*, v. 11, p. 12957, 2021.
- Ross, E.P.; Behringer, D.C. & Bojko, J. White spot syndrome virus and the Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*: susceptibility and behavioral immunity. *Journal of Invertebrate Pathology*, n. 162, p. 1-9, 2019.

- Santos, C.M.D.C.; Pimenta, C.A.D.M. & Nobre, M.R.C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, n. 15, p. 508-511, 2007.
- Shields, J.D. & Behringer Jr., D.C. A new pathogenic virus in the Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* from the Florida Keys. *Diseases of Aquatic Organisms*, v. 2, n. 59, p. 109-118, 2004.
- Shields, J.D. A review of the impact of diseases on crab and lobster fisheries. *In* Bilateral Conference between Russia and the United States, 3., 2009, *Proceedings* [...]. 2009. p. 12-20.
- Shields, J.D. Diseases of spiny lobsters: A review. *Journal of Invertebrate Pathology*, n. 106, p. 79-91, 2011.
- Subramaniam, K.; Behringer, D.C.; Bojko, J.; Yutin, N.; Clark, A.S.; Bateman, K.S.; van Aerle, R.; Bass, D.; Kerr, R.C.; Koonin, E.; Stentiford, G.D. & Waltzek, T.B. A new family of DNA viruses causing disease in crustaceans from diverse aquatic biomes. *MBio*, v. 11, n. 1, p. e02938-19, 2020.
- Verbruggen, B.; Bickley, L.K.; van Aerle, R.; Bateman, K.S.; Stentiford, G.D.; Santos, E.M. & Tyler, C.R. Molecular mechanisms of *White spot syndrome virus* infection and perspectives on treatments. *Viruses*, n. 8, p. 1-29, 2016.
- Wang, Y.C.; Lo, C.F.; Chang, P.S. & Kou, G.H. Experimental infection of white spot baculovirus in some cultured and wild decapods in Taiwan. *Aquaculture*, n. 164, p. 221-231, 1998.
- Zamora-Briseño, J.A.; Cerqueda-García, D.; Hernández-Velázquez, I.M.; Rivera-Bustamante, R.; Huchín-Mian, J.P.; Briones-Fourzán, P.; Lozano-Álvarez, E. & Rodríguez-Canul, R. Alterations in the gut-associated microbiota of juvenile Caribbean spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804) infected with *PaV1*. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 176, p. 107457, 2020a.
- Zamora-Briseño, J.A.; Ruiz-May, E.; Elizalde-Contreras, J.M.; Hernández-Velázquez, I.M.; Hernández-Pérez, A.; Fuentes-García, A.G.; Herrera-Salvatierra, N.; Briones-Fourzán, P.; Pascual-Jiménez, C.; Lozano-Álvarez, E. & Rodríguez-Canul, R. ITRAQ-Based Proteomic Profile Analysis of the Hepatopancreas of Caribbean Spiny Lobsters Infected with *Panulirus argus* Virus 1: Metabolic and Physiological Implications. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, 2020b.