

**Editora Dra. Gislaine Fongaro**

# **TENDÊNCIAS BIOTECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS PARA FINS DE SAÚDE ÚNICA**

**PROSPECÇÃO DE  
MOLÉCULAS BIOATIVAS**

**PATÓGENOS VIRAIS  
E PARASITÁRIOS**

**CULTIVO CELULAR  
*IN VITRO***

**CITOTOXICIDADE**

**INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL**



## Controle ambiental de parasitos entéricos: desafios e tendências

DOI: 10.56041/9786599841859-2

### **DE LIZ, Laryssa Vanessa**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-4748-2855>

### **MARTINS, Carolina Leite**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-1310-9390>

### **ROSAR, Amábilli De Souza**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0000-00033177-8467>

### **DE FREITAS, Ana Cláudia Oliveira**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-27015750>

### **BASTIANI, Ana Paula**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0007-9205-1057>

### **GRISARD, Edmundo Carlos**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0001-8916-8296>

**QUARESMA, Patricia Flavia**

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-8274-4166>

**STOCO, Patricia Hermes\***

Laboratório de Protozoologia; Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia;  
Centro de Ciências Biológicas; Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-0879-6173>

\*Autor correspondente: patricia.stoco@ufsc.br

## RESUMO

Diversas espécies de helmintos e protozoários estão ligadas a parasitoses intestinais que impactam milhões de pessoas. No Brasil, destacam-se os parasitos *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *ancilostomídeos*, *Taenia* sp., *Schistosoma mansoni*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium* sp.. No cenário de saúde única várias dessas espécies assumem papel diferenciado devido à sua natureza zoonótica, aumentando a complexidade e os desafios para o controle. O controle ambiental dessas parasitoses envolve um conjunto de ações e estratégias direcionadas à redução de infecções. As formas infectantes destes parasitos são encontradas em ambiente variados como, água, solo, esgoto e resíduos animais. Este capítulo aborda questões cruciais relacionadas ao controle ambiental dessas espécies, destacando estratégias empregadas no Brasil e internacionalmente, incluindo iniciativas de saneamento básico, educação em saúde, controle de reservatórios e distribuição de medicamentos. Além disso, a conscientização crescente sobre medidas preventivas, como higiene pessoal e consumo de água potável, desempenha papel fundamental na mitigação dessas doenças. Contudo, os desafios enfrentados no controle de parasitos refletem a influência de fatores como mudanças climáticas, rápida urbanização e as migrações, moldando a distribuição geográfica e prevalência das parasitoses entéricas. Isso destaca a necessidade constante de adaptação das estratégias de controle e a promoção de uma saúde única.

**Palavras-chave:** Enteroparasitoses; helmintos; protozoários; populações vulneráveis; diagnóstico; saúde única.

## INTRODUÇÃO

As parasitoses intestinais são doenças causadas por diversas espécies de helmintos e protozoários que afetam cerca de 1,5 bilhões de pessoas no mundo (Khurana; Singh; Mewara, 2021). São consideradas doenças tropicais negligenciadas, sendo mais frequentes em áreas rurais e comunidades com vulnerabilidade social, as quais vivem em condições sanitárias inadequadas. Apesar de baixas taxas de letalidade, as infecções por parasitos entéricos impactam negativamente o sistema de saúde e a vida das pessoas infectadas. Sintomas como desnutrição, diarreia, anemia e prejuízo no desenvolvimento físico e cognitivo são comuns, embora muitos indivíduos infectados sejam assintomáticos. O impacto de cada doença no indivíduo depende de diversos fatores, entre eles: a espécie do parasito, a carga parasitária, a presença de coinfeções, o estado nutricional e imunológico e os fatores socioeconômicos (Khurana; Singh; Mewara, 2021).

Destacam-se no Brasil os enteroparasitos *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* spp., *Schistosoma mansoni*, *ancilostomídeos*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia duodenalis* e *Cryptosporidium* spp (Quadro 1). Uma vez que no Brasil não é exigida a notificação destas parasitoses, exceto na ocorrência de surtos, o número de casos é certamente subestimado. No período de 2010 a 2015, um inquérito nacional estimou a prevalência de algumas helmintoses em crianças de 7 a 17 anos utilizando exame parasitológico de fezes (EPF). As prevalências

observadas foram de 6% para infecção por *A. lumbricoides*, 541% para *T. trichiura*, 0,99% para *S. mansoni* e 273% para ancilostomídeos (Katz, 2018). Esses números diferem significativamente entre cidades e estados brasileiros. No Amazonas, por exemplo, 21,79% e 19,14% das crianças foram positivas para *T. trichiura* e *A. lumbricoides*, respectivamente. Além disso, os números também diferem entre diferentes populações. Ao analisar as fezes de 430 indígenas na Amazônia foi constatado 100% de infecção por protozoários intestinais e 39,33% por helmintos (Vasconcelos et al., 2023). Isto evidencia a necessidade de considerar aspectos regionais para definir estratégias de controle dessas parasitoses (Katz, 2018).

As espécies de parasitos intestinais possuem particularidades em seus ciclos de vida e formas de transmissão. Humanos se infectam pela ingestão de ovos, cistos ou oocistos ou ainda por penetração ativa de larvas que estão presentes no solo, água, esgoto ou resíduo animal (Quadro 1). Uma vez estabelecida a infecção, seja em seres humanos ou outros animais, cada espécie passa por etapas de desenvolvimento no organismo até ocorrer a liberação das formas parasitárias transmissíveis, contaminando o ambiente. Nesse sentido, o manejo ambiental é parte crucial para o controle e prevenção dessas doenças e envolve um conjunto de ações direcionadas à redução da exposição aos parasitos presentes no ambiente, incluindo as seguintes medidas: a) diretas: saneamento básico, tratamento da água, tratamento de infectados e controle de vetores; b) indiretas: educação em saúde, promoção da higiene pessoal, assistência médica e melhoria nas condições de vida.

**Quadro 1 - As parasitoses intestinais humanas são causadas por diversas espécies de helmintos e protozoários.** Classificação dos diferentes enteroparasitos, incluindo informações referentes a doença relacionada, forma infectante para humanos, fonte e forma de transmissão para humanos e a fonte de contaminação ambiental.

Classificação	Agente etiológico	Doença	Forma Infectante	Fonte de infecção	Forma de transmissão	Fonte de contaminação ambiental	
Helmintos	Nematelmin-tos	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascaridíase	Ovo	Solo, água, alimento, esgoto, resíduo animal	Fecal-oral	Fezes humanas
		<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuríase	Ovo		Fecal-oral	Fezes humanas
		<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiase	Ovo	Solo, água, alimento, esgoto	Penetração na pele	Fezes humanas
		<i>Necator americanus</i>	Ancilostomíase	Larva		Penetração na pele	Fezes humanas
		<i>Ancylostoma duodenale</i>	Estrongiloidíase	Larva	Solo	Penetração na pele	Fezes humanas e de cães
		<i>Ancylostoma ceylanicum</i>		Larva		Penetração na pele	
		<i>Strongyloides stercoralis</i>		Larva		Penetração na pele	
	Platelmintos	<i>Taenia spp. *</i>	Teníase	Cisticerco	Carne bovina e suína	Ingestão de carne	Fezes humanas
		<i>Taenia solium</i>	Cisticercose	Ovo	Água e alimento	Fecal-oral	Fezes humanas
		<i>Diphyllobothrium latum</i>	Difilobotríase	Larva	Carne de peixe	Fecal-oral	Fezes humanas e roedores
		<i>Hymenolepis spp.</i>	Himenolopíase	Ovos ou larva	Água e alimento (ovos) ou artrópodes (larva)	Fecal-oral	Fezes humanas e caramujos
		<i>Schistosoma mansoni</i>	Esquistossomose	Cercária	Água	Penetração na pele	
	Protozoários	<i>Cryptosporidium spp.</i>	Criptosporidíase	Oocisto		Fecal-oral	Fezes humanas e de outros mamíferos
		<i>Giardia duodenalis</i>	Giardíase	Cisto	Água e alimento	Fecal-oral	Fezes humanas e de outros mamíferos
<i>Entamoeba histolytica</i>		Amebíase	Cisto		Fecal-oral	Fezes humanas	
<i>Balantidium coli</i>		Balantidiose	Cisto		Fecal-oral	Fezes humanas	
<i>Cyclospora cayentensis</i>		Ciclosporíase	Oocisto		Ingestão de carne com cistos	Fezes humanas e de suínos	
<i>Cystoisospora belli</i>		Cistoisospo-riase	Oocisto	Carne bovina	Ingestão de carne com cistos	Fezes humanas	
<i>Sarcocystis hominis</i>		Sarcocistose	Cisto	Carne suína	Ingestão de carne com cistos	Fezes humanas	
<i>Sarcocystis suis-hominis</i>			Oocisto/	Água e alimento	Fecal-oral	Fezes humanas	
<i>Toxoplasma gondii</i>		Toxoplasmose	Cisto tecidual	Carne de aves e mamíferos	Ingestão de carne com cistos	Fezes de felídeos	

## ÁGUA

A contaminação da água por microrganismos patogênicos é ligada à higiene e ao saneamento. Países em desenvolvimento possuem condições sanitárias precárias e o acesso a água potável não abrange toda a população. Várias espécies de parasitos podem ser veiculadas pela água, no entanto *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. são os mais encontrados tanto na água tratada quanto não tratada, devido a ampla distribuição e alta capacidade de sobrevivência (Efstratiou et al., 2017).

Na água, a detecção dos parasitos é, frequentemente, feita a partir da concentração

dos microrganismos seguida de imunofluorescência ou métodos moleculares. Países como os Estados Unidos, o Japão, o Reino Unido e a Austrália realizam monitoramento de parasitos na água e diversas medidas de saneamento ambiental, ao contrário de países da América Latina, da África e da Ásia, onde além da infraestrutura sanitária precária e não há o monitoramento de parasitos na água (Baldursson & Karanis, 2011).

No Brasil, a portaria emitida pelo Ministério da Saúde que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água tratada, prevê a avaliação da presença desses parasitos apenas quando a média geométrica anual de *Escherichia coli* for maior ou igual a 1.000/100 mL. Quando a concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nos postos de captação da água for maior ou igual a três oocistos por litro, recomenda-se realizar filtração rápida. Entretanto, avaliar a qualidade geral da água apenas considerando a presença de coliformes, não implica na ausência de protozoários e de outros patógenos (Basualdo et al., 2000). Nos Estados Unidos a lei da água potável (LT2ESWTR- 2006) prevê que a concentração de *Cryptosporidium* spp. seja menor que 0,075 oocisto por litro, visando atingir a concentração de zero oocisto por litro (EPA, 2023).

O tratamento da água envolve diferentes etapas como floculação, decantação, filtração, desinfecção (por cloro) e fluoretação. Essa sequência de tratamento é eficiente para eliminação dos patógenos mais comuns, como vírus e bactérias, mas não é eficiente contra protozoários formadores de cistos. Isso se deve ao fato dos cistos de *Giardia* spp. (~8 µm) e dos oocistos *Cryptosporidium* spp. (~4 µm) serem estruturas pequenas capazes de passar pelo sistema de filtração convencional, além de possuírem uma parede cística espessa que os mantém viáveis e tolerantes à desinfecção por cloro e outros desinfetantes (Omarova et al., 2018).

Para superar esses desafios, novas metodologias vêm sendo propostas visando inativar e/ou eliminar esses parasitos da água, sendo o custo o maior limitante para a implementação. Por exemplo, a utilização do dióxido de cloro, um desinfetante alternativo mais eficaz que o cloro, é capaz de inativar cistos e oocistos. Tratamentos com ozônio e radiação UV são de alta eficiência para a inativação dos parasitos, gerando danos aos ácidos nucleicos (DNA e RNA) e morte celular. Métodos de filtração usando granulações menores ou membranas (micro, ultra e nanofiltração) também são estratégias eficazes (Omarova et al., 2018). Na Inglaterra, a filtração de água para abastecimento público utilizando membranas reduziu os casos de criptosporidiose em torno de 79% (Goh et al., 2005).

A implementação de novas tecnologias para o tratamento de água em países como o Brasil se faz urgente. Além disso, deve-se investir esforços no monitoramento constante de corpos hídricos destinados ao abastecimento humano e animal, a fim de reduzir possíveis impactos à saúde.

## ESGOTO

O tratamento de esgoto é um processo fundamental para preservar a saúde pública e o meio ambiente. Este processo engloba a eliminação de impurezas presentes nas águas residuais e lodo de esgoto, originados de resíduos domésticos e industriais, com o propósito

de produzir um efluente passível de ser reintegrado ao ciclo hídrico. O contato direto com esgoto não tratado implica na possibilidade de infecção por enteroparasitos, particularmente, devido às doses infectantes mínimas extremamente baixas, normalmente da ordem de algumas unidades ou dezenas de unidades (DuPont et al., 1995).

As águas residuais, quando tratadas adequadamente, podem ser aplicadas, eficientemente, em diversas operações urbanas (descarga sanitária, irrigação e lavagem de veículos), agrícolas (irrigação de culturas), uso doméstico (produção de água potável) e uso industrial (resfriamento e reposição de caldeiras) (Jasim et al., 2016). A reutilização do lodo de esgoto também tem grande potencial na agricultura, possibilitando a reciclagem de matéria orgânica e inorgânica, reduzindo a necessidade de fertilizantes. Apesar das vantagens apresentadas, um dos desafios reside na falta de um padrão eficaz de tratamento e na ausência de uma metodologia de detecção de parasitos nessas amostras (Singh & Agrawal, 2008). Essa carência de informações impede o desenvolvimento de modelos para estimar os riscos associados à exposição a parasitos durante os processos de reutilização ou descarte de lodos. Outro grande desafio é a falta de uma legislação única e eficaz. A legislação brasileira para o tratamento de esgoto é composta por várias normas e leis, além de legislações estaduais e municipais específicas. No entanto, não existem normativas específicas relacionadas à concentração de parasitos em sistemas de tratamento de esgoto. A norma ABNT NBR 12209 estabelece indicadores biológicos que devem ser monitorados em efluentes tratados, e inclui apenas os coliformes fecais. O tratamento de esgoto compreende uma série de etapas, incluindo peneiramento, decantação, biodegradação e desinfecção. Essa última etapa tem o intuito de eliminar patógenos, sendo realizada mediante a aplicação de cloro, com possibilidade de uso de ozônio ou UV (Jin et al., 2014).

A maioria dos métodos de tratamento de águas residuais concentra-se na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos, enquanto a parcela de saneamento básico é negligenciada. A implementação de processos adicionais para o controle de parasitos eleva o custo tornando-se inviável, especialmente para países subdesenvolvidos. Dentre os métodos mais eficazes para a inativação de parasitos na água residual e no lodo de esgoto incluídos na fase terciária de tratamento, estão: tratamento térmico a 108 °C, pasteurização a 70 °C ou tratamento químico por meio da adição de ácido sulfúrico, clorídrico, propiônico, acético ou peracético (Keller et al., 2004).

A pesquisa por métodos eficazes para a remoção de parasitos de águas residuais e lodo de esgoto é um campo de estudo importante. Estudos utilizando algas em um sistema de lagoa facultativa e filtração demonstraram eliminação de 100% dos ovos de helmintos, mas incapacidade de remover *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* sp. (Abd-Elmaksoud et al., 2021). A secagem solar do lodo de esgoto conseguiu eliminar uma quantidade significativa de ovos de helmintos, incluindo redução de cerca de 90% de ovos de *Ascaris* spp. e a remoção completa de ovos de *Schistosoma* spp., *Capillaria* spp., *Trichuris* spp., *Toxocara* spp. e *Taenia* spp. (An-Nori et al., 2021). Além disso, técnicas de compostagem acopladas a métodos de desidratação demonstraram uma redução superior a 90% de ovos dos gêneros *Ancylostoma*, *Trichuris*,

*Capillaria* e *Schistosoma* (El Hayany et al., 2018).

A pesquisa de parasitos em sistemas de esgoto suscita interesse, não apenas devido ao seu potencial patogênico, mas também em virtude da notável resiliência demonstrada por helmintos e protozoários na maioria dos procedimentos de saneamento aplicados em estações de tratamento. Dessa forma, esses microrganismos se tornam indicadores de extrema relevância na avaliação da eficácia dos processos de tratamento. É importante ressaltar a necessidade de se estabelecer limites legais para a presença de cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos em efluentes e lodos de esgoto, especialmente se o reuso após o tratamento já estiver delineado.

## RESÍDUOS ANIMAIS

Patógenos zoonóticos podem estar presentes em resíduos e dejetos animais e representam uma preocupação à saúde pública. Entre os parasitos zoonóticos que apresentam riscos à saúde humana, devido à sua frequência e persistência em resíduos animais, destacam-se: *Ascaris suum*, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium* sp., *Cyclospora* sp., *Cystoisospora belli*, *G. duodenalis* e *Toxoplasma gondii* (Sobsey et al., 2006).

Diversos surtos de doenças transmitidas pela água devido a contaminação fecal de origem animal estão documentados. Um exemplo clássico ocorreu em Milwaukee, EUA em 1993. Nessa ocasião, o departamento de saúde recebeu vários relatos de indivíduos com sintomas gastrointestinais e, posteriormente, estimou-se que cerca de 403 mil pessoas foram infectadas por *Cryptosporidium* spp. (Mac Kenzie et al., 1994).

A gestão de resíduos animais engloba uma variedade de processos visando a sua eliminação ou reuso, como na agricultura. Para tratamento dos resíduos destacam-se métodos térmicos, como a incineração, processos químicos, como a hidrólise, e abordagens biológicas, como a digestão anaeróbica (Samoraj et al., 2022). A biodigestão anaeróbia constitui uma alternativa para utilização de dejetos da suinocultura como biofertilizantes e produção de biocombustíveis (Rogovski et al., 2022). No entanto, pouco é abordado em relação à qualidade sanitária do digestato, havendo estudos com aditivos que melhoram a eliminação viral e bacteriana, mas que não foram capazes de eliminar ovos de *A. lumbricoides*, por exemplo (Fongaro et al., 2016).

O processamento por biodigestores anaeróbios termofílicos é, atualmente, a melhor alternativa para o tratamento de resíduo animal, embora não seja eficiente para a completa inativação dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. As elevadas temperaturas potencializam a redução dos oocistos, e o armazenamento e tratamento do resíduo em lotes, ao invés de ser constantemente adicionado ao biodigestor, tende melhorar a inativação (Vermeulen et al., 2017). Além disso, a utilização de sistemas de compostagem de biosecagem, o qual associa elevadas temperaturas e desidratação do composto, mostrou-se eficaz na inativação de ovos de *A. suum* (Collick et al., 2017).

## SOLO

De todos os ambientes potencialmente contaminados, o solo é o mais negligenciado, não havendo qualquer normativa que considere a detecção ou controle de patógenos no solo. A detecção de ovos e larvas de geo-helminthos no solo é realizada em pesquisas epidemiológicas eventuais em parques e praças públicas (Santos et al., 2006) e não de forma periódica como fazem as companhias de tratamento de água e esgoto. Os poucos métodos descritos para controle nesse ambiente baseiam-se no fato de que a maturação de ovos (*A. lumbricoides* e *T. trichiura*) e a sobrevivência de larvas (*Ancylostoma* sp. e *Strongyloides stercoralis*) necessitam de fatores químicos, biológicos e físicos específicos. Nesse sentido, utilizar abordagens que atuam diretamente nestes fatores, como altas temperaturas, poderia ser uma forma de controle de parasitos no ambiente.

Os ovos de *A. lumbricoides* apresentam alta resistência aos estresses ambientais, mas são inativados quando submetidos ao tratamento por microondas por curtos períodos (Mun et al., 2009). Larvas de *Ancylostoma* sp. podem ser eliminadas revolvendo o solo e permitindo a exposição a maior incidência solar e menor umidade. Outra alternativa é a técnica de compostagem que, durante o seu processamento oxidativo biológico, atinge altas temperaturas e produz metabólitos tóxicos, como a amônia e o sulfureto, que alteram o pH do meio e contribuem para a inativação dos patógenos. Ela já tem sido usada no tratamento de resíduos agrícolas, industriais e urbanos, e, pode ser aprimorada e adaptada para a eliminação dos ovos e larvas presentes no solo sensíveis a altas temperaturas.

## ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS, CLIMÁTICAS E O IMPACTO NAS PARASITÓSES INTESTINAIS

As ações humanas impactam as parasitoses intestinais de diferentes formas. A urbanização e a miséria fazem com que inúmeras pessoas vivam em áreas sem condições sanitárias adequadas, com alto risco de infecção (Pozio, 2020). Mudanças em ambientes aquáticos, como acidentes e inundação de barragens, já foram associados à disseminação de doenças pois provocam dispersão de parasitos pela água, elevando o risco de parasitoses intestinais. Devido ao peso e tamanho dos oocistos e cistos de protozoários, a ocorrência de enchentes possibilita que estes sejam carregados pela água e que contaminem fontes de água utilizadas para o consumo (Poglayen et al., 2023). Este fenômeno não é restrito a países com problemas de infraestrutura sanitária, e epidemias de criptosporidíase associadas a enchentes têm sido registradas na Europa e nos Estados Unidos.

Além de enchentes, outros desequilíbrios são causados pelo aquecimento global, incluindo altas temperaturas, períodos de estiagem e secas, ventos extremos, entre outros. O aumento da temperatura pode levar a uma aceleração no desenvolvimento dos parasitos em seus hospedeiros e no ambiente, contribuindo para um aumento das parasitoses intestinais. Entretanto, embora temperaturas altas favoreçam o desenvolvimento das larvas de helmintos, este é reduzido em temperaturas superiores a 37 °C (Okulewicz, 2017). O aumento da umidade

do solo é associado a um aumento nos casos de ancilostomíase. Por outro lado, a seca pode fazer com que humanos e outros animais se sujeitem a ingestão de água contaminada. Ao passo que, queimadas tendem a diminuir a propagação de oocistos, larvas e vetores intermediários (Poglayen et al., 2023).

Os efeitos do aquecimento global impactam, de forma direta e indireta, na ocorrência, abundância e distribuição geográfica dos parasitos e, conseqüentemente, o risco de infecção. Portanto, é urgente a necessidade de esforços para controlar o rápido aumento das temperaturas no planeta.

## **CONTRIBUIÇÕES BIOTECNOLÓGICAS PARA O CONTROLE DAS ENTERO-PARASIToses**

Estudos biotecnológicos são essenciais para o desenvolvimento de novos métodos de diagnóstico humano e ambiental, desenvolvimento de vacinas e medicamentos e o emprego de práticas sustentáveis, como o controle biológico de parasitos.

As técnicas usuais de diagnóstico, baseadas em microscopia, são eficazes na detecção de infecções humanas para a maioria dos enteroparasitos. No entanto, a necessidade de recurso humano capacitado e as limitações em diagnosticar indivíduos com baixa carga parasitária, suscitam a busca por métodos mais sensíveis. Técnicas com alta sensibilidade, baseadas na reação em cadeia da polimerase (PCR), têm sido descritas, e no geral demandam tempo e possuem custo elevado para serem aplicadas globalmente (Khurana; Singh; Mewara, 2021). Dito isto, o desenvolvimento de métodos de rápida execução, alta sensibilidade e baixo custo são de grande necessidade. Um exemplo é o desenvolvimento da técnica de LAMP (do inglês *Loop-mediated isothermal amplification*), altamente específica e sensível sem a necessidade de equipamentos de alto custo. O método consiste na amplificação de regiões alvo do DNA do parasito acoplado a um método de detecção colorimétrico. Baseado neste princípio, foi desenvolvido o teste SmartAmp2, capaz de diagnosticar infecções por *N. americanus*, *T. trichiura* e *A. lumbricoides* (Rashwan et al., 2017).

A detecção de parasitos entéricos no ambiente, por sua vez, tem como principais desafios a baixa concentração, a presença de outros organismos e de contaminantes que podem interferir na especificidade e sensibilidade do método utilizado (Hassan et al., 2021). Dentre as recentes inovações, destacam-se o uso de aptâmeros e inteligência artificial para a detecção dos parasitos (Waindok et al., 2022). Os aptâmeros são sondas moleculares formadas por moléculas fita-simples de DNA ou RNA, que formam uma estrutura tridimensional altamente específica para o reconhecimento do patógeno de interesse. Possuem diversas vantagens quanto ao custo de produção e estabilidade durante o armazenamento, tornando-se um método promissor para a detecção de parasitos entéricos em escala global (Hassan et al., 2021). Por outro lado, com o objetivo de diminuir o esforço humano de observação de parasitos por microscopia, diferentes algoritmos vêm sendo desenvolvidos para a detecção automática de parasitos na microscopia, já existindo algoritmos capazes de diferenciar sete espécies de helmintos presentes em diferentes amostras (Waindok et al., 2022).

Diversos esforços têm sido realizados visando o desenvolvimento de vacinas para enteroparasitoses, porém, ainda não há uma formulação com os critérios necessários para produção em larga escala e administração em humanos. Dentre as buscas recentes de alternativas vacinais, destaca-se a abordagem realizada por Gazzinelli-Guimarães e colaboradores (2021). O grupo utilizou dados de proteoma de 17 espécies de helmintos para selecionar epítomos imunogênicos compartilhados entre elas. Os resultados dos testes em camundongos desafiados com *A. suum* foram promissores, e novos testes serão necessários para avaliar seu potencial uso como uma vacina eficaz contra diversas espécies de helmintos.

No contexto de medicamentos, os disponíveis para o tratamento de doenças parasitárias têm sido os mesmos por décadas, resultando na seleção de parasitos resistentes. Os recursos para o desenvolvimento de fármacos para tratar doenças negligenciadas são limitados. Nesse âmbito, o reposicionamento de fármacos já disponíveis tem sido uma estratégia com economia significativa de tempo e custo (Andrews et al., 2014). As análises *in silico* podem auxiliar no direcionamento de novos fármacos e no reposicionamento por meio de bibliotecas de potenciais compostos bioativos e banco de dados. Os bancos de dados como o *Drugbank* e *PubChem* são muito úteis, e o *TDR Targets*, além de integrar informações dos dois últimos e apresentar informações genômicas, foi desenvolvido especialmente para doenças negligenciadas (Andrews et al., 2014). O *TDR Targets*, ao integrar os dados funcionais dos genes com a bioatividade química, por similaridade, identifica alvos de medicamentos com genes de patógenos. A disponibilidade de dados genômicos e proteômicos, juntamente com os bancos de dados, possibilitam a construção de bibliotecas de triagens mais robustas, direcionadas e baratas para as análises *in vitro* (Sateriale et al., 2014).

O uso de organismos vivos para o controle biológico de parasitos tem emergido como uma prática mais sustentável e de longa duração. Isso é possível com o uso de organismos predadores, competidores ou microrganismos que infectam o parasito ou seu hospedeiro intermediário, como no caso da esquistossomose. Dentre as espécies utilizadas, estão peixes, moluscos, crustáceos, lesmas, helmintos, fungos, bactérias e vírus. Os fungos apresentam um grande potencial pois, além de serem eficazes na redução de parasitos e do hospedeiro invertebrado da esquistossomose, também produzem metabólitos secundários que podem posteriormente ser explorados pela indústria química (Fonseca et al., 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As parasitoses intestinais são um problema de saúde que afeta mais de 18% da população mundial, especialmente, populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Iniciativas biotecnológicas são potenciais fontes de inovação para o controle destas doenças, o qual envolve a associação de diversas medidas. A escolha das abordagens deve levar em conta aspectos ecológicos e sociais específicos de cada região. O incentivo por parte de organizações e programas globais é crucial para o desenvolvimento de insumos, métodos e recursos humanos mais eficientes para fomentar ações voltadas para a redução da morbidade em regiões endêmicas.

## CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e FAPESC pelas bolsas de pesquisa de mestrado e doutorado das autoras de Liz, L. V., Martins, C., Rosar, A. S. e Bastiani, A. P.

## REFERÊNCIAS

Abd-Elmaksoud, S., Abdo, S. M., Gad, M., Hu, A., El-Liethy, M. A., Rizk, N., ... & Doma, H. S. (2021). Pathogens removal in a sustainable and economic high-rate algal pond wastewater treatment system. *Sustainability*, 13(23), 13232. doi: 10.3390/su132313232

An-Nori, A., El Fels, L., Ezzariai, A., El Hayani, B., El Mejahed, K., El Gharous, M., & Hafidi, M. (2021). Effectiveness of helminth egg reduction by solar drying and liming of sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 14080-14091. doi: 10.1007/s11356-020-11619-w

Andrews, K. T., Fisher, G., & Skinner-Adams, T. S. (2014). Drug repurposing and human parasitic protozoan diseases. *International Journal for Parasitology, Drugs and Drug Resistance*, 4(2), 95–111. doi: 10.1016/j.ijpddr.2014.02.002

Baldursson, S., & Karanis, P. (2011). Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks - an update 2004-2010. *Water Research*, 45(20), 6603–6614. doi: 10.1016/j.watres.2011.10.013

Basualdo, J., Pezzani, B., De Luca, M., Córdoba, A., & Apezteguía, M. (2000). Screening of the municipal water system of La Plata, Argentina, for human intestinal parasites. *International journal of hygiene and environmental health*, 203(2), 177-182. doi: 10.1078/s1438-4639(04)700255

Collick, A. S., Inglis, S., Wright, P., Steenhuis, T. S., & Bowman, D. D. (2007). Inactivation of *Ascaris suum* in a biodrying compost system. *Journal of environmental quality*, 36(5), 1528-1533. doi: 10.2134/jeq2006.0523

DuPont, H. L., Chappell, C. L., Sterling, C. R., Okhuysen, P. C., Rose, J. B., & Jakubowski, W. (1995). The infectivity of *Cryptosporidium parvum* in healthy volunteers. *New England Journal of Medicine*, 332(13), 855-859. doi: 10.1056/NEJM199503303321304

Efstratiou, A., Ongerth, J. E. & Karanis, P. (2017). Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks-an update 2011-2016. *Water Research*, 114, 14-22. doi: 10.1016/j.watres.2017.01.036

El Hayany, B., El Glaoui, G. E. M., Rihanni, M., Ezzariai, A., El Faiz, A., El Gharous, M., ... & El Fels, L. (2018). Effect of dewatering and composting on helminth eggs removal from lagooning sludge under semi-arid climate. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11), 10988-10996. doi: 10.1007/s11356-017-1066-z

EPA. Safe Drinking Water Act (SDWA). 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/>

sdwa. Acesso em: 15 out. 2023.

Fongaro, G., Kunz, A., Magri, M. E., Schissi, C. D., Viancelli, A., Philippi, L. S., & Barardi, C. R. M. (2016). Settling and survival profile of enteric pathogens in the swine effluent for water reuse purpose. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(8), 883-889. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.07.004

Fonseca, J. dos S., Altoé, L. S. C., de Carvalho, L. M., de Freitas Soares, F. E., Braga, F. R., & de Araújo, J. V. (2023). Nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* to control parasitic diseases in animals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(12), 1-10. doi: 10.1007/s00253-023-12525-0

Gazzinelli-Guimarães, A. C., Nogueira, D. S., Amorim, C. C. O., Oliveira, F. M. S., Coqueiro-Dos-Santos, A., Carvalho, S. A. P., ... & Fujiwara, R. T. (2021). ASCVac-1, a multi-peptide chimeric vaccine, protects mice against *Ascaris suum* infection. *Frontiers in Immunology*, 12, 788185. doi: 10.3389/fimmu.2021.788185

Goh, S., Reacher, M., Casemore, D. P., Verlander, N. Q., Charlett, A., Chalmers, R. M., Knowles, M., Pennington, A., Williams, J., Osborn, K., & Richards, S. (2005). Sporadic cryptosporidiosis decline after membrane filtration of public water supplies, England, 1996–2002. *Emerging Infectious Diseases*, 11(2), 251–259. doi: 10.3201/eid1102.040274

Hassan, E. M., Örmeci, B., DeRosa, M. C., Dixon, B. R., Sattar, S. A., & Iqbal, A. (2021). A review of *Cryptosporidium* spp. and their detection in water. *Water Science and Technology*, 83(1), 1-25. doi: 10.2166/wst.2020.515

Jasim, S. Y., Saththasivam, J., Loganathan, K., Ogunbiyi, O. O., & Sarp, S. (2016). Reuse of treated sewage effluent (TSE) in Qatar. *Journal of Water Process Engineering*, 11, 174-182. doi: 10.1016/j.jwpe.2016.05.003

Jin, L., Zhang, G., & Tian, H. (2014). Current state of sewage treatment in China. *Water research*, 66, 85-98. doi: 10.1016/j.watres.2014.08.014

Katz, N. (2018). Inquérito Nacional de Prevalência da Esquistossomose mansoni e Geohelminthoses. Centro de Pesquisas René Rachou (CPqRR): Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Keller, R., Passamani-Franca, R. F., Cassini, S. T., & Goncalves, F. R. (2004). Disinfection of sludge using lime stabilisation and pasteurisation in a small wastewater treatment plant. *Water science and technology*, 50(1), 13-17. doi: 10.2166/wst.2004.0005

Khurana, S., Singh, S., & Mewara, A. (2021). Diagnostic techniques for soil-transmitted helminths – Recent advances. *Research and Reports in Tropical Medicine*, 12, 181-196. doi: 10.2147/RRTM.S278140

Mac Kenzie, W. R., Hoxie, N. J., Proctor, M. E., Gradus, M. S., Blair, K. A., Peterson, D. E., Kazmierczak, J. J., Addiss, D. G., Fox, K. R., & Rose, J. B. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *The New England Journal of Medicine*, 331(3), 161–167. doi: 10.1056/NEJM199407213310304

Mun, S., Cho, S.-H., Kim, T.-S., Oh, B.-T. & Yoon, J. (2009). Inactivation of *Ascaris* eggs in soil by microwave treatment compared to UV and ozone treatment. *Chemosphere*, 77(2), 285-290. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.07.030

Okulewicz, A. (2017). The impact of global climate change on the spread of parasitic nematodes. *Annals of parasitology*, 63(1), 15-20. doi: 10.17420/ap630179

Omarova, A., Tussupova, K., Berndtsson, R., Kalishev, M., & Sharapatova, K. (2018). Protozoan parasites in drinking water: A system approach for improved water, sanitation and hygiene in developing countries. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 495. doi: 10.3390/ijerph15030495

Poglayen, G., Gelati, A., Scala, A., Naitana, S., Musella, V., Nocerino, M., ... & Habluetzel, A. (2023). Do natural catastrophic events and extreme climatic conditions also affect parasites?. *Parasitology*, 15, 137. doi: 10.1017/S0031182023000471

Pozio, E. (2020). How globalization and climate change could affect foodborne parasites. *Experimental Parasitology*, 208, 107807. doi: 10.1016/j.exppara.2019.107807

Rashwan, N., Diawara, A., Scott, M. E., & Prichard, R. K. (2017). Isothermal diagnostic assays for the detection of soil-transmitted helminths based on the SmartAmp2 method. *Parasites & vectors*, 10(1), 1-12. doi: 10.1186/s13071-017-2420-1

Rogovski, P., Cadamuro, R. D., Souza, D. S. M., Savi, B. P., Razzolini, M. T. P., de Souza Lauretto, M., ... & Fongaro, G. (2022). Animal residues use and application for sustainable agriculture on one health approach. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 131-158). Elsevier.

Samoraj, M., Mironiuk, M., Izydorczyk, G., Witek-Krowiak, A., Szopa, D., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2022). The challenges and perspectives for anaerobic digestion of animal waste and fertilizer application of the digestate. *Chemosphere*, 295, 133799. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133799

Santos, N. M., Silva, V. M. G da, Thé, T. S., Santos, A. B. dos & Souza, T. P. de. (2006) Contaminação das praias por parasitos caninos de importância zoonótica na orla da parte alta da cidade de Salvador-BA. *Revista das Ciências Médicas e Biológicas*, 5(1), 40-47.

Sateriale, A., Bessoff, K., Sarkar, I. N., & Huston, C. D. (2014). Drug repurposing: mining protozoan proteomes for targets of known bioactive compounds. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 21(2), 238–244. doi: 10.1136/amiajnl-2013-001700

Singh, R. P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28(2), 347358. doi: 10.1016/j.wasman.2006.12.010

Sobsey, M. D., Khatib, L. A., Hill, V. R., Alocilja, E., & Pillai, S. (2006). Pathogens in animal wastes and the impacts of waste management practices on their survival, transport and fate (pp. 609-666). doi:10.13031/2013.20268

Vasconcelos, M. P. A., Sánchez-Arcila, J. C., Peres, L., de Sousa, P. S. F., dos Santos Alvarenga, M. A., Castro-Alves, J., ... & Oliveira-Ferreira, J. (2023). Malarial and intestinal parasitic co-infections in indigenous populations of the Brazilian Amazon rainforest. *Journal of Infection and Public Health*, 16(4), 603-610. doi: 10.1016/j.jiph.2023.02.012

Vermeulen, L. C., Benders, J., Medema, G., & Hofstra, N. (2017). Global *Cryptosporidium* loads from livestock manure. *Environmental science & technology*, 51(15), 8663-8671. doi: 10.1021/acs.est.7b00452

Waindok, P., Raulf, M. K., & Strube, C. (2022). Potentials and challenges in the isolation and detection of ascarid eggs in complex environmental matrices. *Food and Waterborne Parasitology*, 28, e00174. doi: 10.1016/j.fawpar.2022.e00174