



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE
JOAQUIM VENÂNCIO

Yan Ferreira Marins

**QUITRIDIDIOMICOSE EM ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA:
impactos nas espécies e ecossistemas da região Sudeste**

Rio de Janeiro

2022

Yan Ferreira Marins

**QUITRIDIOMICOSE EM ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA:
impactos nas espécies e ecossistemas da região Sudeste**

**Projeto de monografia apresentado à Escola
Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio –
Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz) como
requisito parcial para aprovação no Curso Técnico
em Biotecnologia.**

Orientador(a): Daniel Souza

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

A quitridiomicose é uma patologia que precisa de atenção. É, atualmente, junto da poluição, diminuição do habitat e entre outros, uma das principais causas da diminuição nas populações globais de anfíbios, especialmente anuros. Desde a sua descoberta no século XX, o fungo quitrídio, *Batrachochytrium dendrobatidis*, tem se espalhado mundialmente, com os mais elevados números de casos na Austrália e América Central. No Brasil, o patógeno já foi encontrado em quase todos os biomas nacionais, tendo maior presença no bioma da Mata Atlântica, reconhecida por abrigar grande diversidade de anfíbios, sendo um lugar que precisa de devida atenção para o tema. Este projeto de pesquisa é uma revisão bibliográfica de teses, artigos, dissertações e relatórios diretamente ligados à doença e as espécies afetadas direta ou indiretamente por ela. O projeto tem como foco principal estudar a quitridiomicose e como ela vem afetando as principais espécies do ecossistema da Mata Atlântica do Sudeste brasileiro. Como também, descrever a biologia dos fungos como o *Batrachochytrium dendrobatidis* e o papel ecológico dos anfíbios nos ecossistemas.

Palavras-chave: *Batrachochytrium dendrobatidis*; quitridiomicose; anfíbios da Mata Atlântica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
1.1 JUSTIFICATIVA	09
2. OBJETIVOS	10
2.1. OBJETIVO GERAL	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. METODOLOGIA	11
3.1 CRONOGRAMA	12
4. CAPÍTULO 1: FUNGOS QUITRÍDIOS	13
4.1 REINO FUNGI	13
4.1.1 Ascomycota	13
4.1.2 Basidiomycota	14
4.1.3 Zygomycota	15
4.2 CHYTRIDIOMYCOTA	15
4.2.1 Principais Ordens	17
4.3 <i>BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS</i>	18
4.3.1 Biologia	18
4.3.2 Descoberta	19
4.3.3 Dispersão Global	20
5. CAPÍTULO 2: ANFÍBIOS	21
5.1 CLASSIFICAÇÃO GERAL: AMPHIBIA	21
5.1.1 Anura	21
5.1.2 Caudata	23

5.1.3 Gymnophiona	24
5.2 PAPEL ECOLÓGICO DOS ANFÍBIOS	24
6. CAPÍTULO 3: QUITRIDIOMICOSE EM ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA	25
6.1 PRINCIPAIS ESPÉCIES DE ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA DO SUDESTE	25
6.2 IMPACTOS DA QUITRIDIOMICOSE EM ANFÍBIOS	26
6.3 IMPACTO DA QUITRIDIOMICOSE NAS ESPÉCIES DE ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA DA REGIÃO SUDESTE	28
7. CONCLUSÃO	29
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

O declínio de populações de espécies nativas é uma preocupação real ao redor do globo, que movimenta ações de inúmeras comunidades para a preservação da nossa fauna e flora. Segundo a “*Red List*”¹ da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) de 2021, existem mais de quarenta mil espécies com risco de extinção no mundo, sendo, no caso de anfíbios, por volta de 40% de todas as espécies conhecidas. Os principais fatores que corroboram para a perda de diversidade de espécies no mundo todo são: perda de habitat natural, poluição, mudanças climáticas e patologias. Nas espécies de anfíbios, uma das causas que vem aumentando cada vez mais, desde os anos de 1960 e 1970, é a quitridiomicose (IUCN, 2021; LOZANO, 2018; IUCN, 2007).

A quitridiomicose é uma patologia causada pelo *Batrachochytrium dendrobatidis*, um fungo unicelular aquático da classe Chytridiomycota (LOZANO, 2018) que infecta, essencialmente, anfíbios. Mesmo com casos em outros animais também serem conhecidos, como em peixes, lagartos, cobras e crustáceos, tais animais não desenvolvem sintomas e ainda ajudam a perpetuar o fungo no ambiente (FERREIRA, 2021). Entre os anfíbios, os principais afetados são Anura (sapos e rãs), porém também há casos registrados em Caudata (salamandras) e Gymnophiona (cecílias) (FERREIRA, 2021). No seu ciclo de vida existe apenas duas fases: uma primeira fase de vida livre, quando ele é categorizado como zoósporo uniflagelado, e uma segunda quando há a fixação do fungo em uma região queratinizada da epiderme do hospedeiro, assim formando um zoosporângio (LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021). O quitrídio também pode formar esporo de repouso por meio de reprodução sexuada ou assexuada (FERREIRA, 2021). O fungo, por depender da queratina para completar seu ciclo, se aloja essencialmente nas regiões mais superficiais da epiderme, onde há maior concentração do composto, principalmente na região posterior do corpo, como pelve, abdome e membros traseiros (pés e dedos inclusos) (LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021). No caso de girinos infectados, apenas a região oral, a qual é a única parte queratinizada durante o período larval, é afetada, podendo causar deformidades no disco oral dos girinos (LOZANO, 2018). Em adultos, a infecção tem como foco principal a região abdominal posterior, a qual concentra a maior parte da vascularização dos indivíduos, tal região é de essencial

¹ Da tradução livre “*Lista Vermelha*”, fazendo alusão a situação de emergência de risco de extinção de algumas espécies.

importância para a regulação osmótica dos anuros. Com a infecção atingindo essa região, pode haver uma perda de eletrólitos de cálcio, potássio e cloro (Na^+ , K^+ e Cl^- , respectivamente) no plasma, resultando assim na maior causa de morte pela doença, a parada cardíaca. (LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021). A sazonalidade também interfere com as taxas de infecção pelo *B. dendrobatidis*, sendo o inverno, o período mais propício para replicação do fungo (OLIVEIRA; RUGGERI; TOLEDO, 2018), já que este tem maior afinidade com climas frios e úmidos, além de a corpos d'água permanentes (LOZANO, 2018).

Já é conhecido a presença da quitridiomicrose na Mata Atlântica, o bioma brasileiro com a maior concentração de espécies de anfíbios (FERREIRA, 2021), desde os anos 2000, tendo atualmente uma presença expressiva até mesmo na Amazônia e Cerrado (FAPESP, 2015). Atualmente, as espécies que possuem maior taxa de testes positivos no Brasil para a quitridiomicrose são: *Dendropsophus minutus*, *Boana faber*, *Scinax hayii*, *Physalaemus cuvieri*, *Hylodes phyllodes* e *Boana albopunctata* (FERREIRA, 2021). Além de frequentemente existirem outras espécies relevantes que testam positivo, *Xenopus laevis* e *Lithobates catesbeianus*, duas espécies exóticas, sendo a última uma espécie invasora (DE PAULA, 2011; FERREIRA, 2021). Também existem espécies de Gymnophiona (cecílias) da Mata Atlântica que apresentaram testes positivos, são elas: *Siphonops annulatus* e *Luetkenotyphlus brasiliensis* (FERREIRA, 2021).

Neste projeto de monografia foi abordado, por meio de revisão científica, a quitridiomicrose e sua relação com os anfíbios da Mata Atlântica da região Sudeste, além de compilar as principais características sobre os fungos, especialmente quitrídeos, e anfíbios, junto de sua importância ecológica.

1.1. JUSTIFICATIVA

A Mata Atlântica é o bioma nacional que possui a maior diversidade de anfíbios e também foi o bioma mais afetado pela quitridiomicrose nos últimos anos, com ampla disseminação da doença pelos ecossistemas e espécies (FAPESP, 2015; FERREIRA, 2021). A quitridiomicrose é uma das causas para o declínio populacional de mais de 40% das espécies de anfíbios no nosso planeta (IUCN, 2021). Causando efeitos maléficos para a diversidade de inúmeras localidades, principalmente a América Central e a Austrália (FERREIRA, 2021).

Ademais, sempre foi de meu interesse abordar temas que envolvessem estudos herpetológicos, os quais foram meu foco inicial na escolha do tema para este projeto de monografia. Tive como o foco compreender melhor a biologia e, principalmente, a fisiologia desses animais, ao estudar diretamente uma patologia de grande importância para a conservação dos anfíbios. Como também carrego um fascínio pela micologia, o que também direcionou a escolha especificamente da quitridiomicrose.

Logo, este projeto busca diretamente não só dar mais relevância para um tema de grande importância para o meio ambiente, neste caso especialmente um ecossistema local (Mata Atlântica), mas também a aquisição de mais conhecimento pessoal.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar como a quitridiomicose vem afetando as espécies de anfíbios da Mata Atlântica na região Sudeste do Brasil.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Compreender as principais características dos fungos com enfoque no *Batrachochytrium dendrobatidis*;
- 2) Descrever a quitridiomicose, como ela afeta os indivíduos e se dispersa;
- 3) Compreender o papel ecológico dos anfíbios em ecossistemas como a Mata Atlântica;

3. METODOLOGIA

O projeto se baseou em uma revisão de literatura científica com uma abordagem qualitativa, visando compreender os impactos da quitridiomicose nas populações de anfíbios e como tais impactos afetam as relações ecológicas no ecossistema da Mata Atlântica da região Sudeste.

Foram utilizado na busca de bibliografia os bancos de dados BDTD/IBICT e Google Scholar, tendo como palavras-chave *Batrachochytrium dendrobatidis*, quitridiomicose e anfíbios da Mata Atlântica.

O recorte temporal para seleção dos artigos foi de janeiro de 1999 até novembro de 2022, seguindo a publicação do artigo que cataloga a espécie *Batrachochytrium dendrobatidis*, até o ano da defesa do projeto. Usufruindo principalmente de artigos, teses, dissertações, livros e reportagens disponíveis integralmente e gratuitamente, visando um acesso democrático à informação. Como também o uso de relatórios² da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN). Estão presentes, até o momento, apenas dois livros e três artigos de acesso pago durante o projeto.

A monografia é composta de três capítulos e uma conclusão, sendo o primeiro referente à compreender a biologia dos fungos, com enfoque no filo Chytridiomycota e na espécie *Batrachochytrium dendrobatidis*; o segundo capítulo traz a compreensão do que são os anfíbios e as particularidades entre os principais grupos, além de descrever a importância ecológica dessa classe nos ecossistemas onde são presentes; o terceiro capítulo tem como foco principal a relação entre a quitridiomicose e as espécies de anfíbios da Mata Atlântica da região Sudeste, como a patologia vem impactando os anfíbios individualmente, como também populacionalmente as espécies desse ecossistema; a conclusão utilizou de toda informação recolhida durante a monografia para entender quais são os impactos causados nessas espécies pela quitridiomicose.

4. CAPÍTULO 1: FUNGOS QUITRÍDIOS

² Os relatórios são publicados semestralmente no site da instituição. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>

4.1 REINO FUNGI

Os membros do Reino Fungi são parte essencial dos ecossistemas. O papel mais comum exercido pelos fungos é o de decompositores da matéria orgânica morta (saprobiontes), mas também existem espécies simbióticas, como as micorrizas e líquens, ou parasitas, causando inúmeras patologias em seres vivos de diversos grupos. Os fungos também têm valor econômico, sendo parte fundamental da fermentação natural na produção de pães, queijos e vinhos (leveduras), ou auxiliando nas pesquisas científicas (*Penicillium roqueforti* e *Saccharomyces cerevisiae*) (DRECHSLER, 2015).

As características principais que definem esses seres vivos são presença de núcleo celular (eucariontes), heterotróficos, reserva energética em glicogênio, unicelulares ou pluricelulares, digestão externa ao corpo, reprodução assexuada ou sexuada, aeróbios ou anaeróbios facultativos, alta dependência a umidade, presença de quitina na parede celular e ergosterol ao invés de colesterol (esse presente nas células animais) (TORQUEMADA et al., 2011; DRECHSLER, 2015).

O estudo da micologia como uma classe separada das plantas, algas e protistas ainda é recente, isso é fortemente refletido na classificação ainda tão incerta dos fungos. São considerados fungos verdadeiros apenas aqueles que possuem todas as características supracitadas, os que não condizem totalmente com essas características levam o nome de pseudofungos (como oomicetos e mixomicetos). Os principais filos que agrupam os fungos verdadeiros são: Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota e Chytridiomycota (MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; TORQUEMADA et al., 2011; DRECHSLER, 2015).

4.1.1 Ascomycota

Ascomycota é o filo mais diverso do Reino Fungi com mais de 60 mil espécies catalogadas. Os ascomicetos compõem um grupo com espécies muito conhecidas de fungos como: as principais leveduras; maioria fungos simbióticos em líquens e micorrizas; espécies de atenção médica como os fungos do gênero *Candida*, responsáveis pela candidíase humana; também estão presentes membros macroscópicos, como as trufas, ingrediente importante para a gastronomia. As características que reúnem os ascomicetos são hifas septadas (células haploides ou diploides), e a reprodução sexuada por meio de ascos. As células reprodutivas masculinas (anterídios) são

conectadas às células femininas (ascogônios) por meio de uma ramificação chamada tricógino; assim os núcleos da célula masculina são transferidos para célula feminina que gerará hifas haploides dicarióticas (dois núcleos). As hifas dicarióticas geradas pela reprodução sexuada irão formar nas extremidades os ascos, que internamente guardam os ascósporos (esporos reprodutivos) que após o rompimento do asco ou dispersão natural serão liberados no meio ambiente. Os ascomicetos também se reproduzem assexuadamente por meio de conídios³. (MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; TORQUEMADA et al., 2011; DRECHSLER, 2015).

4.1.2 Basidiomycota

Basidiomycota são os exemplos de fungos mais presentes no imaginário popular: os cogumelos. Os representantes mais clássicos desse grupo são todas espécies de cogumelos, como o champignon (*Agaricus campestris*) e os *Amanita spp.*, além dos orelha de pau, principais responsáveis pela decomposição da celulose e lignina na natureza. Há também membros não tão conhecidos, espécies parasitárias, como os fungos causadores da ferrugem⁴ (geralmente do gênero *Puccinia*) e do carvão do milho (*Ustilago maydis*), e mutualistas, como as ectomicorrizas. Assim como os ascomicetos, os basidiomicetos fazem parte do sub reino Dikarya, pois possuem uma fase reprodutiva dicariótica. A reprodução sexuada ocorre com a fusão de duas células monocarióticas haploides em uma célula dicariótica haploide, que gerará o basidioma (em espécies pluricelulares são os cogumelos) que após a meiose formam basídios com os basidiósporos externos ao carpo, assim sendo expelidos por forças do próprio basidioma ou naturalmente. Os basidiomicetos, logo, se diferenciam dos ascomicetos pela formação dos esporos externos ao basidioma, enquanto os ascomicetos os formam internamente nos ascos. Os basidiomicetos também podem se reproduzir assexuadamente, pelos conídios (MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; TORQUEMADA et al., 2011; DRECHSLER, 2015).

³ Conídios são o meio de reprodução assexuada das hifas, esporos que se desassociam do micélio por meio dos conidiósporos.

⁴ Ferrugem é a doença causada por um grupo de espécies de fungos que causam manchas marrons, avermelhadas, alaranjadas e/ou amareladas nas folhas das plantas, manchas de aparência semelhante a oxidação do ferro (enferrujamento).

4.1.3 Zygomycota

Zygomycota é o filo do Reino Fungi que compreende os bolores e mofos, fungos amplamente conhecidos e presentes no nosso cotidiano por participarem da decomposição de legumes, frutas e pães, por exemplo. As espécies de maior relevância do filo são as dos gêneros *Rhizopus* e *Mucor* (que agrupam os principais bolores). As espécies macroscópicas do gênero *Pilobolus* são exemplos de membros saprobiontes. Também existe a presença de espécies mutualistas e parasitárias, como, respectivamente, algumas endomicorrizas e os próprios *Rhizopus spp.*, que são parasitas de algumas espécies de plantas. A característica principal do grupo é sua reprodução sexuada por meio de zigospórângios. Diferentemente dos membros do sub reino Dikarya (Ascomycota e Basidiomycota), os zigomicetos possuem células septadas, ou seja, uma célula possui inúmeros núcleos e são essencialmente unicelulares, afetando o método de reprodução do grupo. Quando dois gametângios (estrutura que guarda os gametas) compatíveis se encontram, eles produzem o zigospórângio, que formará no seu interior os zigotos. Depois da meiose dentro do zigospórângio, ele será maturado e assim germina o esporângio, responsável pela distribuição dos esporos no meio ambiente. Os esporângios também podem ser germinados no micélio (TORQUEMADA et al., 2011; DRECHSLER, 2015).

4.2 CHYTRIDIOMYCOTA

O filo Chytridiomycota é composto pelos fungos mais primitivos de todo o Reino Fungi, são essencialmente aquáticos, mesmo havendo espécies terrestres, e há presença de um único flagelo liso nas suas estruturas reprodutivas (zoósporos). Os quitrídios são fungos verdadeiros, por possuírem quitina na parede celular, ao invés de celulose, e terem reservas energéticas em glicogênio, por exemplo. São fungos microscópicos, não havendo espécies visíveis ao olho nu. Essencialmente unicelulares, possuem rizoides (talo monocêntrico), ou rizomicélio (talo policêntrico), ou micélio cenocítico, o qual os septos são apenas presentes perto das estruturas reprodutivas. Como todos os outros grupos de fungos verdadeiros, possuem principalmente papéis de saprobiontes (como as do gênero *Chytrium*), mutualistas (como os quitrídios do rúmen) e parasitas (como as do gênero *Batrachochytrium*) (NASCIMENTO, 2007; MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; DRECHSLER, 2015).

Existem três métodos utilizados para a reprodução sexuada do grupo: O primeiro, a somatogamia, é semelhante aos ascomicetos e basidiomicetos, quando há a fusão de hifas compatíveis; a segunda é a copulação gametangial, semelhante aos zigomicetos, há a formação do zigoto em uma estrutura externa aos gametângios e brotamento de um esporângio; a terceira e a mais típica do grupo, é a copulação planogamética. A copulação planogamética se dá pela fusão dos gametas sexuais (isogâmicos, anisogâmicos ou heterogâmicos⁵) no meio ambiente, onde formam o zigoto e brotam uma estrutura diploide, o esporófito. O esporófito faz a reprodução assexuada no grupo ao brotar um esporângio delicado, que liberará zoósporos diploides no meio ambiente. O esporófito também produz esporângios de resistência, através da meiose, que gerará zoósporos haploides, responsáveis por brotar os gametângios femininos e masculinos (NASCIMENTO, 2007; MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; DRECHSLER, 2015).

Os quitridiomicetos, mesmo havendo uma baixa diversidade comparado aos outros filos do Reino Fungi, por volta de 1000 espécies conhecidas, ainda sim possuem uma presença significativa nos ecossistemas e nas ações humanas. Encontra-se no grupo, principalmente, espécies saprobiontes como, por exemplo, a *Chytrium aureus*, espécie de quitrídio rizoidal da Mata Atlântica de coloração dourada (devido às moléculas lipídicas as quais envolvem os zoósporos da espécie) decompositora de substratos quitinosos e, às vezes, celulósico. Os quitrídios do rúmen, espécies de diversos gêneros diferentes (*Neocallimastix*, *Piromyces*, *Caecomycetes* e *Anaeromyces*), são fungos anaeróbios facultativos mutualísticos presentes no rúmen e ceco de diversos mamíferos herbívoros, produtores enzimas degradadoras de fibras celulolíticas e hemicelulolíticas. Certas espécies, parasitas de plantas vasculares, possuem grande importância econômica por afetarem diretamente alguns cultivos, como o da batata (*Synchytrium endobioticum* - fungo causador da verruga da batata), milho (*Physoderma maydis* - causador da mancha marrom do milho) e hortaliças (*Olpidium brassicae* - causador do apodrecimento das raízes) (NASCIMENTO, 2007; MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010; DRECHSLER, 2015).

4.1.1 Principais Ordens

⁵ Gametas isogâmicos são gametas de aparência idêntica, anisogâmicos de diferentes tamanhos e heterogâmicos de diferentes formas.

O filo Chytridiomycota, como todos os fungos, pseudofungos e seres vivos zoospóricos, tem uma classificação ainda muito incerta e em constante revisão, logo não há uma certeza em relação do número real de classes presentes no filo. Porém, a classe Chytridiomycetes, que compreende todos os principais quitridiomycetos, continua presente independente dos rearranjos feitos dentro do filo. A classe Chytridiomycetes é dividida em várias ordens, sendo as de maior importância: Chytridiales, Blastocladales e Spizellomycetales (NASCIMENTO, 2007).

As características que definem Chytridiales são, principalmente: zoósporos uniflagelados, com eventuais ocorrências de biflagelados ou multiflagelados; zoósporos globosos ou subglobosos, alongados apenas durante a natação; um único glóbulo lipídico presente no zoósporo; o núcleo posicionado em apenas um lado do zoósporo e sem conexão com o cinetossomo do flagelo. São encontradas espécies essencialmente aquáticas, mesmo com alguns membros que habitam no solo úmido (lama) e em ecossistemas marinhos (ESSER et al., 2001).

Os membros da ordem Blastocladales são facilmente diferenciados dos outros grupos por seu formato alongado, com um núcleo cônico conectado ao cinetossomo. Possuem inúmera diversidade dentro do grupo, tendo como exemplo espécies parasitas obrigatórias de larvas de insetos (dentro da família Coelomomycetaceae) e espécies parasitas de plantas com duplo estágio de vida, um monocêntrico e um filamentosos policêntrico (família Physodermataceae) (ESSER et al., 2001).

Spizellomycetales compartilham de características com Chytridiales, tendo zoósporos uniflagelados e com apenas um glóbulo lipídico, mesmo com eventuais variações. As características que definem a ordem são zoósporos irregulares com movimento ameboide durante a natação; núcleo relacionado ao cinetossomo, por proximidade ou conectado pela raiz do flagelo; e glóbulos lipídicos posicionados anteriormente dentro do zoósporo. O grupo é constituído por duas famílias, Spizellomycetaceae com espécies monocêntricas e endógenas, e Olpidiaceae com o crescimento exógeno do talo (ESSER et al., 2001).

4.3 *BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS*

Batrachochytrium dendrobatidis é um fungo verdadeiro do filo Chytridiomycota, classe Chytridiomycetes, ordem incerta (sendo classificando tanto em Chytridiales, quanto

Rhizophydiales), causador da quitridiomiose⁶, doença com alta letalidade que, nas últimas décadas, vem dizimando as populações globais de anfíbios. O fungo quitrídio é parasita obrigatório de anfíbios, mesmo havendo casos em outros grupos, como: peixes, répteis (cobras e lagartos) e crustáceos (lagostas). Porém apenas os anfíbios desenvolvem sintomas, com os outros grupos apenas servindo de reservatório para o fungo. Em anfíbios, o grupo mais afetado é Anura (sapos e rãs), mesmo assim, ainda são detectados casos em Caudata (salamandras) e Gymnophiona (cecílias). O *B. dendrobatidis* é essencialmente aquático se dispersando por meio dos zoósporos nos corpos d'água, infectando as regiões epidérmicas dos anfíbios, especialmente as regiões mais queratinizadas (OLIVEIRA, 2014; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

4.3.1 **Biologia**

O *B. dendrobatidis* possui apenas dois estágios de vida descritos, um de zoósporo aquático de vida livre, e um de zoosporângio fixado ao substrato, que, quando maduro, libera zoósporos no meio. Portanto, a espécie, essencialmente, se reproduz assexuadamente, porém há casos de reprodução sexuada por meio de esporos de repouso. Os zoósporos são esféricos ou levemente ovalados, apresentam apenas um único flagelo, possuem diversos glóbulos lipídicos minoritários, um núcleo lateral envolto por uma massa ribossômica e cinetossomo alheio ao núcleo (raiz conectada aos ribossomos). Zoosporângios tem talo monocêntrico ou colonial, são esféricos com rizoides crescendo em inúmeras direções, nascendo um por cada segmento de talo colonial e com, especialmente, uma ou duas papilas de descarga de zoósporos presentes durante a liberação dos zoósporos. O desenvolvimento do quitrídio começa após o zoósporo se aderir às células, provocando um encistamento do zoósporo durante a fixação. Quando fixado, o zoósporo gerará talos ramificados, se agregando ao substrato celular, assim formando um zoosporângio, que produzirá zoósporo internamente e os liberará após seu rompimento (LONGCORE et al., 1999; OLIVEIRA, 2014; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

4.3.2 **Descoberta**

⁶ A quitridiomiose é a única doença conhecida causada por um quitridiomiceto a afetar vertebrados, com a maioria dos membros parasitas do filo infectando plantas, algas, protozoários e pseudofungos (oomicetos).

Nos anos de 1996 até 1998, anfíbios anuros das espécies *Dendrobates azureus*, *Dendrobates auratus* e *Litoria caerulea* do National Zoological Park (EUA) foram encontrados mortos ao serem infectados por uma então desconhecida doença cutânea. Após análises reportou-se um organismo esférico eucarioto produtor de zoósporos nas células epiteliais desses anfíbios, características de fungos membros do filo Chytridiomycota. Algo incomum para vertebrados, pois não haviam anteriormente casos conhecidos de infecção por quitridiomycetos em células desses animais. Outras ocorrências do mesmo organismo estavam presentes em amostras da epiderme de outros anuros mortos por zoológicos e centros de pesquisa pelos Estados Unidos. Alto coeficiente de mortes inesperadas e extinção de espécies relatadas na América Central e Austrália também tinham sido relacionadas a esse fungo (LONGCORE et al., 1999; DE PAULA, 2011).

No ano de 1999 foi publicado o artigo de Joyce E. Longcore, Allan P. Pessier e Donald K. Nichols que descrevia e catalogava o tal organismo. *Batrachochytrium dendrobatidis* foi o nome dado para o patógeno causador da doença fatal, denominada quitridiomicose. Com *Batracho* significando sapo, anfíbio em latim, *-chytrium* sendo o nome em referência ao nome do filo Chytridiomycota e *dendrobatidis* homenageando o gênero *Dendrobates*, o qual engloba as espécies afetadas e que serviram como material para a identificação do organismo e seu ciclo de vida (LONGCORE et al., 1999; DE PAULA, 2011).

No Brasil, o *B. dendrobatidis* foi identificado pela primeira vez em girinos de *Hylodes magalhaese*, espécie de anuro leptodactíleo da Mata Atlântica, que apresentaram deformidade no disco oral (sintoma comum da quitridiomicose). Após isso, estudo com espécies depositadas em museus apresentou positividade para o quitrídio em exemplares de outras 5 espécies, o mais antigo foi um espécime de *Colosthetus olfersioides* datado de 1981 e coletado em Nova Iguaçu, estado do Rio de Janeiro. Além da Mata Atlântica, também foram propostas a possibilidade da presença da quitridiomicose em biomas como Cerrado, Pantanal e Amazônia (DE PAULA, 2011).

4.3.3 Dispersão Global

Atualmente, o *B. dendrobatidis* está presente em inúmeros ecossistemas do mundo todo, com casos relatados nas Américas, Oceania, África, Ásia e Europa. A sua origem e dispersão global ainda não é muito bem definida. No caso da origem, já se foi teorizada uma origem sulamericana,

pela endemia do patógeno nos biomas da região, africana, pela alta virulência em espécies de anfíbios do continente, porém, a mais corroborada atualmente é a origem do fungo ser do leste asiático. Depois do sequenciamento de todas as linhagens conhecidas do quitrídio, foi apontado que a linhagem mais basal era oriunda do extremo oriente da Ásia, especificamente a península coreana (DE PAULA, 2011; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

Existem, atualmente, 4 linhagens de *Batrachochytrium dendrobatidis* no mundo, sendo elas: BdASIA-1, a mais ancestral, tendo origem no extremo leste asiático; BdBrazil/BdASIA-2, uma linhagem endêmica da Mata Atlântica e a principal no território nacional; BdCAPE, presente na África do Sul e, por fim; BdGPL (*Global Panzootic Lineage*⁷), mais recente e agressiva, é a causadora da atual devastação global pela doença (LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021). Ainda é especulada a existência de uma nova linhagem que poderia ser mais virulenta até que a BdGPL, sendo ela uma hibridização entre a linhagem global e a linhagem brasileira, BdBrazil/BdASIA2 (FAPESP, 2015).

A hipótese mais conhecida para a grande dispersão do *B. dendrobatidis*, principalmente os da linhagem BdGPL, vem do grande comércio de anfíbios no século XX, época especulada para a expansão do quitrídio. As espécies *Xenopus laevis* e *Lithobates catesbeianus* conseguem portar o fungo mesmo sem apresentar os sintomas da quitridiomiose, o que as fazem como depósito do patógeno no meio ambiente. *X. laevis*, por ser uma principalmente espécie de fins científicos, e *L. catesbeianus*, com fins alimentares, são espécies constantes no fluxo global, assim facilitando a dispersão. Além da rã-touro, *L. catesbeianus*, é uma espécie invasora em diversos ecossistemas, como também no Brasil, assim podendo infectar espécies nativas mais facilmente (DE PAULA, 2011).

Especula-se que a presença do *B. dendrobatidis*, venha exatamente de criadouros nacionais de rã-touro, com os estados de São Paulo e Pará apresentando 78,5% de prevalência de Bd. Também é corroborado pela semelhança entre as linhagens da Bd identificadas nas espécies nativas, com as identificadas nas rã-touro de criadouros (DE PAULA, 2011).

5. CAPÍTULO 2: ANFÍBIOS

5.1 CLASSIFICAÇÃO GERAL: AMPHIBIA

⁷ Na tradução livre, “*Linhagem Panzootica Global*”

A classe Amphibia, mais especificamente Lissamphibia, é um grupo de animais vertebrados tetrápodes que contém todos os anfíbios atuais (sapos, rãs, salamandras e cecílias). A classificação tradicional de anfíbios está diretamente ligada ao nome, animais de dupla vida, ou seja, são animais que passam tanto por um estágio aquático, quanto um estágio terrestre. As características que definem os anfíbios atuais são: uma pele permeável e umedecida, que permite a respiração cutânea; ectotermia; ovo sem proteção amniótica (anamniota), dependem fortemente de ambientes úmidos para reprodução e a maioria das espécies possui estágio larval aquático, com o estágio adulto terrestre. Lissamphibia é dividida em três ordens: Anura, Caudata e Gymnophiona. Anura é a ordem mais biodiversa, por volta de 4.300 espécies conhecidas, incluindo sapos, rãs e pererecas. Caudata é a ordem que engloba todas as espécies de salamandras e tritões, pouco presentes nos ecossistemas brasileiros, com apenas uma espécie conhecida da Bacia Amazônica. Gymnophiona, ou Apoda, possui o grupo mais único de anfíbios, as cecílias ou cobras-cegas. Todas as espécies de anfíbios são carnívoras, apenas havendo casos de onivoria, herbivoria e até detritivoria na fase larval, se alimentando principalmente de invertebrados (com preferência a insetos e aracnídeos). Mesmo com a sua forte dependência a corpos d'água e a umidade, anfíbios são encontrados em inúmeros habitats diferentes em climas tropicais e temperados, em florestas, campos, corpos d'água naturais ou artificiais, temporários ou permanentes, lóticos (rios, riachos, córregos) ou lênticos (lagos, lagoas, poças) (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

5.1.1 Anura

Anura é a ordem de Lissamphibia que inclui as rãs, os sapos e as pererecas. São classificados como anuros todos aqueles anfíbios que perdem a cauda durante a metamorfose (Anura = sem cauda) e possuem a habilidade saltar usando as pernas traseiras (como descrito pelo nome alternativo da ordem, Salientia = saltadores) (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

Como a maioria dos anfíbios, os anuros dependem totalmente de corpos d'água para a sua reprodução, com a estratégia mais comumente usada sendo depósito dos ovos em ambiente aquático. A reprodução dos anuros é externa, o macho se segura na fêmea, gerando algo conhecido

como amplexo, assim os dois expõem seus respectivos gametas que farão a fecundação na água. Os ovos dos anuros são gelatinosos e com quantidade variada entre espécies (podendo chegar até 32.000), a casca gelatinosa (ou cordão gelatinoso) auxilia os ovos a não desidratarem ou serem facilmente levados para longe pela correnteza (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

Os ovos após maturados eclodem os girinos, que são o nome da fase larval dos anuros. Os girinos possuem brânquias, que são internalizadas em poucos dias, ou seja, são adaptados para respirar embaixo d'água, além de terem uma nadadeira caudal. A alimentação dos girinos é bem variada, podendo ser carnívoros, herbívoros, onívoros, filtradores ou detritívoros, mesmo ainda não tendo uma mandíbula desenvolvida. Ao passar do tempo, os girinos irão maturando e formando as características adultas, por meio da metamorfose. Durante a metamorfose, os girinos desenvolvem: membros anteriores e posteriores; mandíbula e língua protátil; pulmões e respiração cutânea, após a perda das brânquias; esqueleto calcificado; e a maturidade sexual. Nos anuros, especialmente, os girinos perdem a seção pós-anal, ou seja, a cauda (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

Uma adaptação reprodutiva única do grupo é o uso da vocalização, os machos coaxam como forma de atrair as fêmeas, assim as fêmeas são quem irão decidir quais dos machos desejam copular, causando uma competição. Os anuros também usam a vocalização não só para corte, pode ser utilizada para demonstrar agressão e estresse. Junto da vocalização, os anuros desenvolveram tímpanos (que é mais desenvolvido nos machos) para captarem mais precisamente os sinais sonoros de corte e defesa do território (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

Todos os anuros, quando adultos, são carnívoros predadores de, principalmente, invertebrados, mesmo presentes em diferentes habitats. Os sapos são os que destoam mais do grupo, possuindo uma pele áspera, cheia de verrugas e glândulas (como as paratoides), além de se locomoverem caminhando ou em pequenos saltos. Já as rãs e pererecas, tem a pele lisa, livre de verrugas e sem a presença de glândulas evidentes, além de se locomover por grandes saltos, raramente caminhando. As pererecas são diferenciadas das rãs por possuírem ventosas adesivas nas patas (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

5.1.2 Caudata

Caudata, ou Urodela, é a ordem de anfíbios que inclui todos aqueles que possuem cauda pós anal, como salamandras ou tritões. Além de possuírem cauda, os membros de Caudata também tem como características: a reprodução interna por espermatóforo (pacote expelido pelo macho onde se guarda os gametas masculinos, que são recolhidos pelo trato reprodutivo das fêmeas para a fecundação interna) na maioria das espécies, apenas as mais primitivas se reproduzem externamente; brânquias externas durante a fase larval e a fusão de inúmeros ossos do crânio, levando a uma aparência mais larga e aberta do que outros anfíbios (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

As salamandras também passam pela metamorfose de forma muito parecida com os anuros, se diferenciam principalmente pelas brânquias externas e retenção da cauda. Diferentemente dos anuros, as salamandras não utilizam da vocalização para reprodução, mesmo tendo a capacidade de gerar sinais sonoros, por isso não possuem nenhum tipo de membrana timpânica desenvolvida (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

No Brasil, existem pouquíssimas espécies da ordem Caudata, sendo a única representante da região amazônica. Caudata pode viver tanto em ambientes terrestres quanto aquáticos, sendo carnívoros em ambos. Na terra, as salamandras usam da projeção das línguas para alimentação, enquanto na água usam das mandíbulas para engolfar o alimento (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

5.1.3 Gymnophiona

Gymnophiona é a ordem que possui as espécies mais destoantes de todos os anfíbios, as cecílias ou cobra-cegas. Cecílias são anfíbios de corpo alongado serpentiforme e ganham o nome de ápodes pela falta de membros locomotores (Apoda = sem pés). São animais de hábitos fossoriais, por esse motivo não possuem olhos, ou possuem olhos muito reduzidos, rastejando e escavando em ambientes pantanosos tropicais. Os crânios dos Gymnophiona são muito mais compactos e sólidos do que os de Caudata e Anura, que possuem aberturas cranianas. A reprodução das cobras-cegas é interna, com a fêmea sendo fecundada pelo órgão copulador do macho. Todas

as espécies de Gymnophionas vivas não passam pela metamorfose, com os filhotes eclodindo do ovo já com a aparência adulta, mesmo com espécies extintas ancestrais com evidências de fase larval aquática. Algumas espécies também possuem cuidado parental, algo raramente presente em anfíbios (HADDAD, 2008; BLANKENSTEYN, 2010; ZANK et al., 2014; KARDONG, 2016; BERGMANN, 2016).

5.2 PAPEL ECOLÓGICO DOS ANFÍBIOS

Anfíbios por serem dependentes da umidade e corpos d'água são encontrados principalmente em ecossistemas com alta umidade ou corpos d'água. Corpos d'água podem ser naturais ou artificiais, temporários ou permanentes, lóticos (rios, riachos, córregos) ou lênticos (lagos, lagoas, poças). Alguns exemplos de grupos de anfíbios se tornaram mais resistentes à baixa umidade, como sapos e cecílias, sapos pela sua pele mais áspera e resistente podem viver em campos, se encontrando em corpos d'água apenas para reprodução, cecílias, no caso, possuem escamas, ou seja, uma pele menos permeável, além de possuírem uma reprodução interna e não passam pela metamorfose, independentes ao ambiente aquático. Climas onde podem ser encontrados a maior diversidade e presença de anfíbios são os tropicais e temperados, geralmente por sua maior umidade anual (ZANK et al., 2014; CORTÉS-GOMEZ et al, 2015).

Dentro dos ecossistemas, os anfíbios exercem um papel essencial na manutenção dos habitats, relações tróficas e transferência dos nutrientes. Por em sua maioria terem uma vida dupla (estágio larval aquático e adulto terrestre), os anfíbios servem como um meio de comunicação entre as relações ecológicas aquáticas e terrestres, fazendo parte da transferência de nutrientes entre os ambientes. Anfíbios também são parte da teia alimentar, servindo de presa para diferentes grupos animais em ambas as fases de vida. Durante os estágios larvais são alimento para invertebrados, como insetos, aracnídeos e crustáceos, já na fase adulta, sendo presa para vertebrados, como mamíferos, aves e répteis. Mas também anfíbios são predadores por serem carnívoros estritos, havendo casos de onivoria, herbivoria e detritivoria apenas na fase larval, e como predadores os anfíbios são reguladores populacionais de invertebrados, principalmente insetos e aracnídeos (ZANK et al., 2014; CORTÉS-GOMEZ et al, 2015).

6. CAPÍTULO 3: QUITRIDIOMICOSE EM ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA DA REGIÃO SUDESTE

A Mata Atlântica é um dos principais biomas nacionais, uma floresta tropical que ocupa por volta de 1,1 milhão de km² e se estende por 17 estados brasileiros (mesmo com apenas 29% de sua extensão original). Considerada um dos 25 *hotspots* globais de diversidade, por conter um alto nível de endemia de espécies presente nos ecossistemas (85% das espécies), a Mata Atlântica abriga cerca de 530 espécies de anfíbios anuros que possuem 27 dos 39 estilos reprodutivos conhecidos desses animais. Casos de quitridiomicose já foram relatados na Mata Atlântica, sejam relatos de girinos, adultos ou espécimes conservadas em museus. Com o primeiro diagnóstico positivo vindo de *Hylodes magalhaese*, desde então há cada vez mais relatos da presença da *B. dendrobatidis* nesse ecossistema seja pela endemia da linhagem BdBrazil/BdASIA2, ou com o acréscimo mundial de casos da BdGPL (NARVAES; RODRIGUES, 2009; DE PAULA, 2011; MÔNICO et al., 2017; MMA, 2022).

6.1 PRINCIPAIS ESPÉCIES DE ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA DO SUDESTE

Na região Sudeste do Brasil, a Mata Atlântica abriga uma alta taxa de espécies e famílias de anfíbios, com apenas o estado de São Paulo sendo o habitat natural de 250 espécies de anuros, cerca de 30% das espécies nacionais conhecidas. E essa diversidade também comporta adaptações e estilos de vidas diversos entre os anfíbios, com famílias terrestres, arborícolas, fossoriais e etc. As principais famílias anfíbios na Mata Atlântica são: Hylidae, Bufonidae, Hylodidae e Siphonopidae; sendo as três primeiras de Anura e a última de Gymnophiona (CONDEZ; SAWAYA; DIXO 2009).

A família Hylidae é um dos clados mais diversos de Amphibia, com aproximadamente 885 espécies conhecidas, chegando a quase 13% de todas as espécies da classe. Ocorrendo em quase todos os continentes, os membros dessa família são essencialmente arborícolas, recebendo o nome de pererecas. Por esse hábito, há uma maior prevalência de diversidade dentro do clado em regiões tropicais e no novo mundo (Américas), o que curiosamente descreve a região da Mata Atlântica. Os gêneros mais prevalentes na Mata Atlântica são *Dendropsophus*, *Hypsiboia* e *Scinax*. Espécies como *Dendropsophus haddadi* possuem um hábito muito único da região da Mata Atlântica que é

a reprodução em bromélias. Os ovos são depositados em poças formadas entre as folhas da planta, assim os girinos se desenvolvem dentro das bolsas d'água. Outras espécies endêmicas como *Phyllodytes luteolus* (Hylidae), por exemplo, também praticam essa forma reprodutiva (SCHINEIDER; TEIXEIRA, 2001; CONDEZ; SAWAYA; DIXO, 2009; WIENS et al., 2010; MAGESKI; SILVA-SOARES; FERREIRA, 2014).

O sapo-cururu, *Rhinella icterica*, é uma das espécies mais emblemáticas da Mata Atlântica. Parte da família Bufonidae que contém anfíbios de hábito terrestre, encontrados tanto em regiões florestadas como campos abertos. Espécies do mesmo gênero como *Rhinella ornata*, se reproduzem por meio de cordões gelatinosos em corpos d'água lânticos ou de baixa correnteza (CONDEZ; SAWAYA; DIXO 2009; NARVAES; RODRIGUES, 2009).

Hylodidae é uma família de Anura que compreende algumas espécies aquáticas, como *Hylodes phyllodes* e *Crossodactylus gaudichaudii*. Presentes em riachos dentro de florestas fechadas ou secundárias, podendo também habitar serapilheiras e pedreiras próximas a riachos e pequenos corpos d'água (ALMEIDA-GOMES, 2007; CONDEZ; SAWAYA; DIXO, 2009).

Gymnophiona é representada apenas por duas espécies na Mata Atlântica da região Sudeste, *Siphonops annulatus* e *Luetkenotyphlus brasiliensis*, com *S. annulatus* sendo relatado no estado de São Paulo e *L. brasiliensis* no de Minas Gerais. As duas são da família Siphonopidae e possuem hábitos fossoriais. (CONDEZ; SAWAYA; DIXO, 2009; MOURA et al., 2012; MACIEL et al., 2019).

6.2 IMPACTOS DA QUITRIDOMICOSE EM ANFÍBIOS

A quitridiomicose é a única doença conhecida causada por um quitridiomiceto a afetar vertebrados, que nesse caso são principalmente anfíbios. Por isso, as reações causadas pela infecção desse patógeno são extremamente particulares. O fungo em questão, *Batrachochytrium dendrobatidis*, se prolifera em meios aquáticos por meio dos zoósporos, os quais infiltram nas regiões epidérmicas queratinizadas dos anfíbios (OLIVEIRA, 2014; BERGMANN, 2016; LAMBERTINI et al., 2017; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021)..

A infecção em anuros pode ocorrer tanto na fase larval (girinos), quanto na fase adulta, tendo suas especificações. Na fase larval, pelos girinos não terem o corpo ainda totalmente formado, a única região a conter queratina é a região oral. Já na fase adulta, todo o corpo pode ser infectado, porém a porção que geralmente é mais atingida é a porção ventral e posterior, com foco

na pelve, abdome e membros traseiros (com pés e dedos inclusos). A região ventral dos anuros, por ser altamente vascularizada, é extremamente importante para o controle osmótico (absorção de água), afetando essa região especificamente pode ocasionar danos letais aos animais. Como também, a região oral dos girinos é essencial para sua sobrevivência, com a doença afetando essa área, podem haver severos danos ao disco oral, causando deformidades (OLIVEIRA, 2014; BERGMANN, 2016; LAMBERTINI et al., 2017; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

A quitridiomicose afeta a região epidérmica principalmente por causar a hiperplasia (alta proliferação de células) e a hiperqueratose (alta concentração de queratina na pele), assim aumentando a rigidez da epiderme e interrompendo as funções essenciais da pele dos anfíbios. A principal causa da alta letalidade da doença vem principalmente pela desregulação do controle osmótico e da absorção de eletrólitos importantes, como Na^+ , K^+ e Cl^- , no plasma sanguíneo. Alterações desse tipo resultam na principal causa de morte de anfíbios infectados: a parada cardíaca. Além desses sintomas, inúmeros outros já foram identificados em anfíbios infectados, são eles: ulceração, despigmentação, reidratação mais lenta, descamação da pele metamórfica (em girinos), descamação frequente da pele, danos ao fígado, letargia, perda de apetite, perda de reflexos em adultos (OLIVEIRA, 2014; BERGMANN, 2016; LAMBERTINI et al., 2017; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

É discutida a possibilidade do *B. dendrobatidis* produzir micotoxinas, com uma confirmação para toxinas bloqueadoras do sistema imune dos anfíbios (LOZANO, 2018), e ainda existem hipóteses que o fungo produz toxinas que causam lesões as células epidérmicas. Todos os sintomas confirmados foram identificados em anuros, com poucos dados sobre Caudata e Gymnophiona. Há a confirmação de que as cecílias (Gymnophiona) podem ser infectadas, com relatos de óbitos relacionados à doença em espécies da África e casos confirmados em espécies sul americanas como a *Siphonops annulatus*. Em relação a Caudata, existem espécies de salamandras com defesas naturais à quitridiomicose, com a presença da bactéria produtora de antifúngicos inibidores, *Janthinobacterium lividum*. Segundo Oliveira, Ruggeri e Toledo (2018), condições ambientais e sazonais afetam os níveis de infecção para a doença: com espécies viventes de corpos d'água permanentes tendo mais susceptibilidade do que as de corpos d'água temporários; com o inverno na Mata Atlântica sendo a época do ano com maior proliferação do fungo; e em espécies do mesmo habitat, as que estão presentes em áreas mais quentes e secas apresentam menor

concentração de infecções (OLIVEIRA, 2014; BERGMANN, 2016; LAMBERTINI et al., 2017; LOZANO, 2018; FERREIRA, 2021).

6.3 IMPACTO DA QUITRIDOMICOSE NAS ESPÉCIES DE ANFÍBIOS DA MATA ATLÂNTICA DA REGIÃO SUDESTE

Atualmente, ainda não é tão expressiva a coleta de dados sobre o *B. dendrobatidis*, casos de quitridiomicose e suas linhagens no Brasil, como também na Mata Atlântica. Mas algumas pesquisas e relatórios podem nos auxiliar a compreender qual é o impacto atual e o estados das espécies afetadas pela patologia.

No Brasil, as famílias de anuros que possuem maior índice de casos positivos de *B. dendrobatidis* são: Hylidae e Hylodidae. Espécies como *Dendropsophus minutus*, *Boana faber*, *Hylodes phyllodes*, *Physalaemus cuvieri* e *Boana albopunctata* são as espécies nacionais que compõem a maior parte dos casos positivos, espécies essas todas ocorrentes na Mata Atlântica e com duas (*Boana faber* e *Hylodes phyllodes*) sendo endêmicas do bioma. Todas as espécies citadas são categorizadas como Least Concern pela IUCN (FERREIRA, 2021; IUCN 2022).

Segundo análises dos artigos compilados por Caio Ponte Carvalho Ferreira (2021), as espécies de hábitos reprodutivos terrestres são as que apresentam maior suscetibilidade à quitridiomicose na maioria dos estudos.

No estudo de Lambertini et al. (2017), a presença do *B. dendrobatidis* foi detectada nas espécies da família Siphonopidae da Mata Atlântica, mas ainda não é possível afirmar o impacto que a doença causou nesses indivíduos ou nas suas relações ecológicas. As duas espécies da família reportadas na região Sudeste, *Siphonops annulatus* e *Luetkenotyphlus brasiliensis*, são categorizadas como Least Concern e Data Deficient, respectivamente, pela IUCN.

7. CONCLUSÃO

O resultado das pesquisas foi insatisfatório em relação ao objetivo geral proposto no projeto. Infelizmente, o número de pesquisas sobre a quitridiomicose em anfíbios da Mata Atlântica do Sudeste ainda é escassa e, portanto, não há possibilidade de medir o impacto que essa doença vem causando nas populações da espécie.

Fomentar pesquisas sobre esse tema e outros temas relacionados são importantes para a defesa da nossa diversidade e ecossistemas nacionais, como também seu maior entendimento. A Mata Atlântica é um dos biomas nacionais com a menor cobertura original, os anfíbios são animais essenciais para o equilíbrio dos seus habitats e a quitridiomicrose é uma doença emergente que pode ter um impacto considerável, como já foi presenciado no passado.

Em relação aos demais objetivos, a pesquisa foi satisfatória e compilou informações o suficiente para ajudar na compreensão total da biologia dos fungos, principalmente do *B. dendrobatidis*, junto a isso, descrever a quitridiomicrose, além de também ajudar na compreensão da importância ecológica dos anfíbios na Mata Atlântica da região Sudeste.

Logo, este projeto de monografia vem para alertar e divulgar sobre não só a quitridiomicrose e o *Batrachochytrium dendrobatidis*, mas como todo o estágio de conservação das espécies de anfíbios desse ecossistema e a sua importância.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE PAULA, Catia D. PATOLOGIA COMPARADA DE INFECÇÕES SELECIONADAS DE ANFÍBIOS ANUROS DE VIDA LIVRE DO BIOMA DA MATA ATLÂNTICA: estudo prospectivo. 2009. 139 f. : il. (Medicina Veterinária e Zootecnia - Patologia Experimental e Comparada) - USP/FMVZ, São Paulo, 2011.
- ALISSON, Elton. Fungo letal a anfíbios está disseminado pela Mata Atlântica. Agência FAPESP, 2015. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/fungo-letal-a-anfibios-esta-disseminado-pela-mata-atlantica/20679/>. Acesso em: 13/03/2022 às 19:33.
- FERREIRA, Caio P. C. O FUNGO QUITRÍDIO *Batrachochytrium dendrobatidis* NOS ANFÍBIOS DO BRASIL. 2021. 40 f. : il. color. (Ciências Biológicas) - UFC, Fortaleza, 2021.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, IUCN. Species Extinction - The Facts. IUCN.org, 2007. Disponível em: https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/species_extinction_05_2007.pdf. Acesso em: 13/03/2022 às 19:43.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species™, 2021. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 13/03/2022 às 19:46.
- LOZANO, Alba N. Ecology and Biogeography of *Batrachochytrium dendrobatidis* in the Brazilian Atlantic Forest. 2018. 90 f. : il., tabs. (Biologia Animal - Ecologia e Comportamento) - Unesp, São José do Rio Preto, 2018.
- OLIVEIRA, Davi C.; RUGGERI, Joice; TOLEDO, Luís F. RELAÇÃO ENTRE A SAZONALIDADE E PREVALÊNCIA DO FUNGO *Batrachochytrium dendrobatidis* EM GIRINOS NO ESTADO DE SÃO PAULO. UNICAMP, Campinas, 2018.

- DRECHSLER, Elisandro R. Material Complementar ao livro Sistemática Vegetal I: Fungos. 47 f. UFSC, Florianópolis, 2015.
- TORQUEMADA, Rafael A. et al. Cadernos Cb Virtual 2. 610 f. : il. cap. 5. UFPB, João Pessoa, 2011.
- MOREIRA, Carolina G. SCHOENLEIN-CRUSIUS, Iracema H. FUNGOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS. 20 f. (Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente - Programa de capacitação de monitores e educadores) - USP/IBt, São Paulo, 2010.
- NASCIMENTO, Cristiane de M. DIVERSIDADE DE CHYTRIDIOMYCOTA DO PARQUE ESTADUAL DA SERRA DA CANTAREIRA, ESTADO DE SÃO PAULO. 2007. 164 f. : il., tabs. (Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente - Concentração de Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais) - Secretaria do Meio Ambiente/Instituto de Botânica, São Paulo, 2007.
- BLANKENSTEYN, Arno. Zoologia de Cordados. 142 f. : il. BIOLOGIA-EAD/UFSC, Florianópolis, 2010.
- ZANK, Caroline. et al. Habitantes da Estação Ambiental Braskem: 25 anos de pesquisa - Capítulo: Anfíbios. 22 f. : il. p. 160-181. Instituto de Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: [\(PDF\) Anfíbios \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 27/06/2022 às 19:41
- KARDONG, Kenneth V. VERTEBRADOS: Anatomia Comparada, Função e Evolução. Tradução de Cláudia Lucia Caetano de Araujo, Idília Vanzellotti e Patricia Lydie Voeux. cap. 3. p. 169-172. 7. ed. RJ: Guanabara, 2016.
- BERGMANN, Alex G. Zoologia de Vertebrados. 215 f. : il. UNIASSELVI, Indaial/SC, 2016.

- HADDAD, Célio F. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, v. 2. p. 287-288 DF: Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas, 2008.
- OLIVEIRA, Cleydson L. Análise in vitro da atividade de secreções cutâneas de anfíbios do Cerrado brasileiro à proliferação do fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (LONGCORE; PESSIER; NICHOLS, 1999). 83 f. : il., tabs. (Biologia Animal) - UNB/IB, Brasília, 2014.
- LAMBERTINI, Carolina. et al. Spatial distribution of *Batrachochytrium dendrobatidis* in South American caecilians. IR/DAO⁸. v. 124. p. 109-116. Abril, 2017.
- ESSER, Karl. et al. The Mycota: A Comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research. 374 f. : il. tabs. v. 7. cap. 5. p. 105-107. Springer, 2001.
- LONGCORE, Joyce E. et al. *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. Mycologia. v. 91. n. 2. p. 219-227. Mar.-Apr., 1999.
- Cortéz-Gómez AM, Ruiz-Agudelo CA, Valencia-Aguilar A, Ladle RJ (2015) Ecological functions of neotropical amphibians and reptiles: a review. Universitas Scientiarum 20(2): 229-245
- NARVAES, Patrícia; RODRIGUEZ, Miguel T. Taxonomic revision of *Rhinella granulosa* species group (Amphibia, Anura, Bufonidae), with a description of a new species. Arquivos de Zoologia (Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo). 73 f. : il. v. 40 p. 1-73. USP, 2009
- MÔNICO Alexandre T. et al. Anfíbios anuros de brejos e lagoas de São Roque do Canaã, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. Papéis Avulsos de Zoologia (Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo). 10 f. : il. tabs. v. 57 p. 197-207. USP, 2017

⁸ Sigla para “Inter-Research Science Publisher/Diseases of Aquatic Organisms”, revista científica que tem enfoque em publicações sobre doenças em organismos aquáticos.

- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mata Atlântica. MMA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/mata-atlantica>. Acesso em: 19/11/2022 às 21:08.
- ALISSON, Elton. Fungo letal a anfíbios está disseminado pela Mata Atlântica. Agência FAPESP, 2015. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/fungo-letal-a-anfibios-esta-disseminado-pela-mata-atlantica/20679/>. Acesso em: 13/03/2022 às 19:33.
- CONDEZ, Thais H.; SAWAYA, Ricardo J.; DIXO, Marianna. Herpetofauna dos remanescentes de Mata Atlântica da região de Tapiraí e Piedade, SP, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.*, 30 f. : il. tabs. v. 9 n. 1 p. 157-186. Jan.-Mar., 2009
- ALMEIDA-GOMES, Mauricio. et al. Diet and microhabitat use by two Hylodinae species (Anura, Cycloramphidae) living in sympatry and syntopy in a Brazilian Atlantic Rainforest area. *Iheringia, Sér. Zool.* 4 f. : tabs. v. 97 n. 1 p. 27-30. Março, 2007
- MOURA, Mário R. et al. Herpetofauna da Serra do Brigadeiro, um remanescente de Mata Atlântica em Minas Gerais, Sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 27 f. : il. tabs. v. 12 n. 1 p. 209-235. UNICAMP, 2012
- MACIEL, Adriano O. et al. Phylogenetic systematics of the Neotropical caecilian amphibian *Luetkenotyphlus* (Gymnophiona: Siphonopidae) including the description of a new species from the vulnerable Brazilian Atlantic Forest. *Elsevier, Zoologischer Anzeiger.* 8 f. : il. tabs. v. 281 p. 75-83. ELSEVIER, 2019.
- WIENS, Joen S. et al. An expanded phylogeny of treefrogs (Hylidae) based on nuclear and mitochondrial sequence data. *Elsevier, Molecular Phylogenetics and Evolution.* 12 f. il. v. 55 p. 871-882. ELSEVIER, 2010.
- SCHINEIDER, José A.; TEIXEIRA, Rogério L. RELACIONAMENTO ENTRE ANFÍBIOS ANUROS E BROMÉLIAS DA RESTINGA DE REGÊNCIA, LINHARES,

ESPÍRITO SANTO, BRASIL. Iheringia, Sér. Zool. 8 f. : tabs. v. 91. p. 41-48. Novembro, 2001.

- MAGESKI, Marcio; SILVA-SOARES, Thiago; FERREIRA, Rodrigo B. Hábito bromelígena de *Dendropsophus haddadi* (Anura: Hylidae) em ambiente de Mata Atlântica no sudeste do Brasil. Bol. Mus. Biol. Mello Leitão. 4 f. : il. v. 34 n. sér. p. 97-100. Abril, 2014.