



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PEDRO II
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

YRIS DE ANDRADE CARVALHO

AVALIAÇÃO MICOLÓGICA EM CARCAÇA DE SUÍNO (*Sus scrofa* L.)
PARA A DETERMINAÇÃO DE INTERVALO *POST MORTEM*

PEDRO II

2025

YRIS DE ANDRADE CARVALHO

AVALIAÇÃO MICOLÓGICA EM CARCAÇA DE SUÍNO (*Sus scrofa* L.)
PARA A DETERMINAÇÃO DE INTERVALO *POST MORTEM*

Trabalho de Conclusão de Curso
(monografia) apresentado como exigência
parcial para a obtenção do diploma do Curso
de Licenciatura em Ciências Biológicas do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí – IFPI Campus Pedro II.

Orientador: Prof. Dra. Marineide Rodrigues do
Amorim

PEDRO II

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Carvalho, Yris de Andrade

C331a Avaliação micológica em carcaça de suíno (*Sus scrofa* L.) para a determinação de intervalo post mortem / Yris de Andrade Carvalho. - 2025.

61 p.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Pedro II, 2025.

Orientadora : Profa Dra. Marineide Rodrigues do Amorim.

1. Micologia. 2. Microbiologia. 3. Ciência forense. I. Título.

CDD - 570

Elaborado por Wirllanna Naira da Silva Torres CRB 3/1088

YRIS DE ANDRADE CARVALHO

AVALIAÇÃO MICOLÓGICA EM CARCAÇA DE SUÍNO (*Sus Scrofa* L.)
PARA A DETERMINAÇÃO DE INTERVALO *POST MORTEM*

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em ciências biológicas do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Pedro II

Aprovada em: 06/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Marineide Rodrigues do Amorim (Orientadora)
Instituição: Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Rafael da Costa Almeida
Instituição: Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Msc. Tályta Carine da Silva Saraiva
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Para àquelas que vieram antes de mim e não puderam dar voz e vez aos seus sonhos científicos. Para àquelas que lutaram e resistiram esse trabalho HOJE, é graças a vocês.

Para aos meus pais, amigos, meu noivo e minhas ancestrais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orixás, principalmente Iansã, meus guias espirituais por me darem forças e energia para vencer as batalhas do dia e não desistir dos meus sonhos, todas as vezes que pensei em desistir foram eles que me acolheram e me reergueram.

Agradeço aos meus pais, Marlon e Ana, aos meus irmãos Yasmin e Yuri, por sempre acreditarem em mim e me motivarem sempre nos estudos, esse TCC é nosso! Obrigado por cada esforço, cada suor, cada conselho, cada sacrifício de vocês me fizeram chegar até aqui, esse trabalho é fruto do meu esforço e dos meus pais, dos meus irmãos.

Sou grata também a minha prima Regina, que esteve sempre ao meu lado, me incentivando e apoiando meu sonho, agradeço aos meus amigos da faculdade Alana e Jon, pela parceria desses quatros anos, pelas risadas, brigas, conselhos, vocês foram o maior presente que ganhei nessa graduação, o lugar de vocês está garantido no meu coração. Agradeço aos meus queridos Erik, Thaís e Sabrina, pela ajuda na execução desse projeto, nas coletas, idas ao laboratório, suportar o odor fétido do suíno não é para todos e vocês seguiram ao meu lado, obrigadas pela coragem e parceria. Agradeço ao José Leandro, meu noivo, por tudo que já fez por mim, principalmente me incentivar nos meus sonhos e estudos, sempre esteve ao meu lado, ajudou até na parte prática desse trabalho. Quando me sentia incapaz ou insegura, você me aconselhava e incentivava, muito obrigado mesmo por isso, foi fundamental para eu conseguir chegar até aqui.

Sou grata a minha querida orientadora Dr^a Marineide Amorim, que bom ter a senhora ao meu lado, obrigada por TUDO, as reclamações foram fundamentais, parte do que sou hoje como acadêmica é graças a você e eu espero que um dia possa me tornar uma mulher tão magnífica e inteligente como à senhora. Além de orientadora, é uma grande amiga e eu espero continuar nossa parceria para além dos prédios da instituição, não há palavras para descrever o quanto sou grata por ter você na minha vida.

Parágrafo especial para agradecer aos meus pais de santo, Kauan e Rafaela, por sempre me apoiarem e acreditarem em mim, vocês são fundamentais no meu crescimento e evolução, espero que fiquem orgulhosos. Obrigada também aos meus amigos, pelo incentivo e acreditarem em mim. A todos os professores, servidores do Instituto, a todos que diretamente ou indiretamente que contribuíram para a conclusão dessa etapa, obrigado.

Todo contato deixa uma marca.
-Princípio de Locard

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo identificar os principais gêneros de fungos presentes em tecidos de suínos (*Sus scrofa* L.) durante a decomposição cadavérica, visando à estimativa do intervalo post mortem (IPM), a partir de uma abordagem micológica forense. O estudo foi conduzido no Instituto Federal do Piauí – Campus Pedro II, utilizando dois suínos depositados em ambientes distintos: um ao sol e outro à sombra. As coletas foram realizadas com swabs estéreis em quatro regiões anatômicas: mucosa oral, pele, narinas e ânus. Os fungos foram isolados e identificados por meio de cultura em meio YG e CHROMagar, com posterior análise microscópica. Foram identificadas espécies de leveduras do gênero *Candida*, sendo *Candida C. tropicalis*, *C. glabrata* e *C. Krusei*. Os fungos filamentosos, relatados foram os gêneros *Aspergillus* sp., *Chaetomium* sp., *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Penicilium* sp., *Rhizopus* sp., *Scopulariopsis* sp., e *Trycophyton* sp. Conclui-se que a micologia forense, embora ainda pouco explorada, oferece dados relevantes à estimativa do intervalo post mortem e à elucidação de casos forenses, especialmente em contextos onde a entomologia não se mostra aplicável. O estudo reforça a importância do aprofundamento em micologia aplicada à ciência forense e aponta para a necessidade de investigações complementares, com o uso de técnicas de biologia molecular, para aumentar a precisão na identificação dos fungos.

Palavras-chave: Micologia forense. Intervalo post mortem. Suíno.

ABSTRACT

This study aimed to identify the main fungal genera present in swine (*Sus scrofa* L.) tissues during the cadaveric experiment, leading to post-mortem interval (PMI) prediction using a forensic mycological approach. The study was conducted at the Instituto Federal do Piauí – Pedro II Campus, using two swine placed in different environments: one in the sun and the other in the shade. Samples were collected using sterile swabs from four anatomical regions: oral mucosa, skin, nostrils, and anus. The fungi were isolated and identified by culture in YG and CHROMagar medium, followed by microscopic analysis. Yeast species of the genus *Candida* were identified: *C. tropicalis*, *C. glabrata*, and *C. krusei*. The reported filamentous fungi were the genera *Aspergillus* sp., *Chaetomium* sp., *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Scopulariopsis* sp., and *Trycophyton* sp. It is concluded that forensic mycology, although still little explored, offers relevant data for estimating the postmortem interval and elucidating forensic cases, especially in contexts where entomology is not applicable. The study reinforces the importance of in-depth study of mycology applied to forensic science and highlights the need for further investigations using molecular biology techniques to increase the accuracy of fungal identification.

Keywords: Forensic mycology. Post mortem interval. Swine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	-Localização do Instituto Federal do Piauí- IFPI campus Pedro II.....	26
Figura 2	- Registro da instalação experimental no IFPI – Campus Pedro II, exposição ao sol.....	27
Figura 3	- Registro da instalação experimental no IFPI – Campus Pedro II, exposição a sombra.....	28
Figura 4	- Gaiola construída em ferro e tela metálica.....	29
Figura 5	-Exemplo de colheita de swab otológico realizado no ouvido direito de um guaxinim (<i>Procyon cancrivorus</i>). [1].....	31
Figura 6	- Análise morfológica das características das colônias fúngicas.....	32
Figura 7	- Cinco estágios de decomposição observados no suíno exposto ao sol.....	35
Figura 8	- Cinco estágios de decomposição observados no suíno exposto a sombra...	36
Figura 9	- <i>Candida albicans</i>	37
Figura 10	- <i>Candida tropicalis</i>	37
Figura 11	- <i>Aspergillus sp</i>	38
Figura 12	- <i>Chaetomium sp</i>	38
Figura 13	- <i>Fusarium sp</i>	39
Figura 14	- <i>Penicillium sp</i>	40
Figura 15	- <i>Helminthosporium sp</i>	40
Figura 16	- <i>Rhizopus sp</i>	40
Figura 17	- <i>Scopulariopsis sp</i>	41
Gráfico 1	- Representação da ocorrência de fungos leveduriformes e filamentosos	42

isolados da carcaça suína exposta à luz solar direta.....	
Gráfico 2 - Representação da ocorrência de fungos leveduriformes e filamentosos isolados da carcaça suína exposta à sombra.....	46
Gráfico 3 - Variação da temperatura média (°C) durante as diferentes fases da decomposição cadavérica.....	50
Gráfico 4 - Variação da umidade relativa do ar (%) nas diferentes fases da decomposição cadavérica.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Distribuição espacial e temporal das espécies fúngicas isoladas da carcaça suína exposta à luz solar direta.....	44
Tabela 2	– Distribuição espacial e temporal das espécies fúngicas isoladas da carcaça suína exposta à sombra.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	A CIÊNCIA FORENSE: PANORAMA HISTÓRICO E CIENTÍFICO.....	16
2.2	PROCESSOS DE DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA E APLICAÇÕES NA ESTIMATIVA DO INTERVALO POST MORTEM (IPM).....	17
2.3	MICROBIOTA, ENTOMOFAUNA E MICROBIOTA NA DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA.....	20
2.4	MICOLOGIA FORENSE: POTENCIAL, APLICAÇÕES E DESAFIOS CIENTÍFICOS.....	22
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	APROVAÇÃO ÉTICA.....	25
3.2	ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.3	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	28
3.4	PROCEDIMENTO DE COLETA.....	30
3.5	ANÁLISE LABORATORIAL.....	31
3.5.1	Caracterização macroscópica.....	32
3.5.2	Caracterização microscópica.....	33
3.5.3	Identificação de Leveduras.....	33
3.6	ANÁLISE DOS DADOS.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A ciência forense compreende um conjunto de áreas interdisciplinares que fornecem suporte técnico-científico às investigações criminais, integrando conhecimentos de diferentes campos do saber para esclarecer eventos e responsabilizar ou excluir suspeitos (Velho et al., 2021; Amorim; Leonesas, 2021). Um dos principais objetivos dessa ciência é reconstruir a dinâmica dos crimes e estabelecer a autoria com base em evidências materiais. Entre os vestígios com potencial forense, destaca-se o solo, por sua ampla ocorrência em ambientes naturais e urbanos e por sua capacidade de aderir a objetos, roupas e calçados, criando conexões entre o local do crime, a vítima e os suspeitos. A composição microbiológica do solo pode atuar como marcador biológico, sendo utilizada para identificar materiais contaminados com partículas do local da ocorrência (Jesmok et al., 2016).

Paralelo a isso, microrganismos, especialmente os fungos, têm se mostrado úteis em contextos forenses. A análise de fungos em cadáveres humanos constitui o campo da micologia forense — um ramo recente da ciência forense voltada ao estudo dos fungos que se desenvolvem sobre corpos em decomposição, sobretudo em condições de umidade, pouca ventilação e temperatura favorável ao crescimento micelial (Barbosa et al., 2012; Kato et al., 2023). A identificação precisa das espécies fúngicas, bem como as condições ambientais (temperatura, umidade) e o modo de armazenamento do corpo são fatores determinantes para uma análise eficaz (Rodrigues, 2014).

A micologia forense pode ser aplicada não apenas para estimar o tempo de morte, mas também para investigar causas específicas de óbito, como envenenamentos por fungos tóxicos, localização de sepultamentos clandestinos, detecção de resíduos em objetos e até mesmo para determinar o momento e local em que o corpo foi deixado (Hösükler et al., 2018). Apesar de sua relevância, trata-se de uma área ainda em consolidação. O marco inicial da micologia forense ocorreu em 1982, quando os pesquisadores belgas Van de Voorde e Van Dijck isolaram fungos da pálpebra e da região inguinal de uma baronesa assassinada, encontrada em um quarto fechado na Bélgica (Hawksworth; Wiltshire, 2011).

Historicamente, os estudos nesse campo concentraram-se em casos de intoxicações por cogumelos venenosos ou psicotrópicos. Contudo, as pesquisas mais recentes têm ampliado esse escopo, investigando fungos presentes tanto sobre o cadáver quanto no solo ou substrato ao redor, visando à estimativa do intervalo post mortem (Hösükler et al., 2018; Hawksworth; Wiltshire, 2016). Durante a decomposição, fungos de diferentes grupos podem colonizar os tecidos, apresentando perfis sucessivos conforme o estágio cadavérico.

Leveduras do gênero *Candida*, por exemplo, são predominantes nas fases iniciais, enquanto fungos filamentosos, muitos provenientes do solo, são mais comuns em estágios avançados.

Sidrim et al. (2010), ao analisarem 234 amostras de 60 cadáveres humanos em diferentes estágios de putrefação e esqueletização, identificaram espécies como *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Penicillium piceum*, *P. rugulosum*, *P. verruculosum*, *Candida albicans* e *C. parapsilosis*. Em estudo semelhante, Schwarz et al. (2015) investigaram 23 casos autopsiados na Alemanha e relataram a presença de 24 espécies fúngicas nos corpos, incluindo representantes dos gêneros *Aspergillus*, *Candida*, *Debaryomyces*, *Helicostylum*, *Lichtheimia*, *Pseudogymnoascus*, *Rhizopus*, *Scopulariopsis* e *Yarrowia*.

Embora muitas vezes aplicada em associação com a entomologia forense, a micologia pode ser a única ferramenta disponível em determinados contextos, especialmente quando não há colonização por insetos. Nesses casos, os fungos tornam-se essenciais na determinação do intervalo post mortem (Costa, 2017). Apesar disso, a escassez de dados sobre a atuação fúngica em cadáveres humanos limita sua aplicabilidade. Muitos investigadores ainda desconsideram a importância dos fungos observados nas autópsias, o que contribui para a falta de informações sistematizadas (Tranchida et al., 2021).

Adicionalmente, há grande número de espécies fúngicas ainda não identificadas, bem como carência de dados sobre suas taxas de crescimento em tecidos humanos sob diferentes condições ambientais, como temperatura e umidade (Tranchida; Cabello, 2019). Soma-se a isso a reduzida quantidade de peritos especializados e o desconhecimento generalizado, entre profissionais do sistema de justiça, sobre o potencial desses microrganismos em investigações criminais. Dessa forma, a micologia forense possui um campo promissor, com grande potencial de contribuição para a resolução de casos forenses e civis (Hawksworth; Wiltshire, 2016).

Nesse contexto, torna-se urgente ampliar o número de pesquisadores especializados e desenvolver manuais padronizados para identificação fúngica com precisão (Jasim, 2021), uma vez que esses organismos podem fornecer subsídios importantes para a estimativa do intervalo post mortem. Considerando as limitações bioéticas no uso de cadáveres humanos em experimentos forenses, a utilização de modelos animais, como suínos (*Sus scrofa domesticus*), tem sido amplamente aceita. Os porcos compartilham diversas características com os humanos, como composição corpórea, cobertura pilosa, estrutura dérmica, microbiota intestinal e padrões de decomposição, o que os torna modelos ideais em estudos forenses (Geissenberger, 2021).

Diante do exposto, este estudo parte da hipótese de que é possível estimar o

intervalo post mortem com base na identificação das espécies fúngicas que colonizam tecidos suínos durante o processo de decomposição cadavérica. Assim, o objetivo da presente pesquisa é identificar os principais fungos associados à decomposição de tecidos suínos, com foco nos estágios de putrefação, a fim de avaliar seu potencial como indicadores do tempo de morte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CIÊNCIA FORENSE: PANORAMA HISTÓRICO E CIENTÍFICO

A ciência forense consiste em um campo multidisciplinar aplicado à resolução de casos judiciais, com base em métodos científicos de análise e interpretação de vestígios. Tradicionalmente associada à investigação criminal, a ciência forense também tem aplicações no âmbito civil, contribuindo para a elucidação de disputas judiciais diversas (Sebastiany, 2013). Seu papel central é auxiliar a justiça na reconstrução de eventos, identificação de vítimas e suspeitos, e produção de provas técnicas que sustentem decisões jurídicas fundamentadas.

Para que o diagnóstico da causa da morte seja eficiente e preciso, é essencial que a análise seja realizada o mais brevemente possível, uma vez que o estado de decomposição do cadáver influencia significativamente os resultados periciais. Esse fator está relacionado aos diversos fenômenos físico-químicos e biológicos que se iniciam imediatamente após a morte, alterando progressivamente os tecidos e dificultando a coleta e interpretação dos vestígios (Adegas; Coxe, 2018).

Os registros mais antigos da utilização de práticas forenses remontam à dinastia chinesa Qin (721–707 a.C.), destacando a longa trajetória da área. Em 1248, o ditador Song Ci publicou a obra “El lavado de los males”, considerada a primeira sistematização de métodos científicos aplicados à resolução de crimes (Góngora, 2018). No Ocidente, a regulamentação da ciência forense teve início em 1209, com o surgimento do primeiro tratado publicado em 1575 (Stumvoll, 2019).

No Brasil, o marco histórico ocorreu em 1800, com a criação do primeiro curso de medicina legal no Rio de Janeiro. Posteriormente, a incorporação das ciências exatas — como matemática e física — impulsionou a padronização das práticas forenses, formalizada pelo Decreto nº 24.531/1934, que regulamentou o Instituto Médico Legal e o Gabinete de Pesquisas Científicas do Distrito Federal (Rodrigues et al., 2022).

As investigações forenses fundamentam-se em abordagens interdisciplinares, que

combinam conceitos e técnicas de áreas como balística, genética, toxicologia, medicina legal, entomologia, papiloscopia e química analítica (Cockbain; Laycock, 2017). Essa integração permite reconstituir, com rigor técnico, as circunstâncias de um crime, identificando autoria, instrumentos utilizados e dinâmica dos eventos (Fernandes, 2021). Ademais, estudos apontam que a ciência forense pode atuar preventivamente, ao contribuir para a redução dos índices de criminalidade por meio de investigações eficientes e confiáveis (Wortley et al., 2018).

Os exames periciais são conduzidos por especialistas que aplicam metodologias padronizadas na coleta, análise e preservação de vestígios materiais. No exame do local de crime, são observados fatores como a posição do corpo, possíveis instrumentos lesivos, manchas de sangue, impressões digitais e indícios de luta. Posteriormente, são realizados exames laboratoriais, análises toxicológicas, genéticas e físico-químicas, resultando na produção de um laudo pericial técnico-científico (Dai, 2019). Esse documento é essencial para subsidiar o processo penal com evidências confiáveis.

No campo pericial, é fundamental distinguir os conceitos de indício e evidência. Um indício é qualquer informação que, embora subjetiva ou indireta, sugere uma possível conexão com o fato investigado. Já a evidência é o indício comprovado por análise pericial e documentado cientificamente (Velho et al., 2021; Silveira et al., 2020). A integridade desses elementos depende de protocolos rigorosos de coleta e preservação, pois falhas nesse processo podem comprometer a validade da prova e prejudicar a justiça (Khoo et al., 2018).

Entre os principais tipos de vestígios considerados em perícias criminais, destacam-se: o cadáver e seus pertences, vestígios hemáticos, armas, impressões digitais, pelos, documentos queimados, cadernos de anotações, fotografias, vias de acesso e sinais de luta (Touro; Fitch, 2016). Esses elementos são analisados em sua totalidade, levando-se em conta fatores como motivação, risco, localização e intervalo temporal da ação (Pereira et al., 2023).

Por fim, a ciência forense no Brasil tem se consolidado com o aumento da oferta de cursos de graduação e pós-graduação, o que impulsiona a formação de novos especialistas. A articulação entre universidades, centros de pesquisa e órgãos periciais tem possibilitado o desenvolvimento de metodologias inovadoras, aumentando a eficácia, precisão e aplicabilidade dos exames forenses no contexto jurídico.

2.2 PROCESSOS DE DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA E APLICAÇÕES NA ESTIMATIVA DO INTERVALO POST MORTEM (IPM)

Os estágios de decomposição de cadáveres de vertebrados estão diretamente associados à

sucessão dinâmica e relativamente previsível de microrganismos. Esses microrganismos, ao desempenharem papéis essenciais na degradação dos tecidos, tornam-se ferramentas confiáveis e promissoras na estimativa do intervalo post mortem (IPM). A composição e a atividade das comunidades microbianas variam significativamente de acordo com o ambiente onde o corpo se encontra. Por exemplo, o processo de decomposição em corpos enterrados ou confinados difere marcadamente daqueles expostos ao ar livre, devido a variáveis como umidade, radiação solar, oxigenação, tipo de solo e suas propriedades geoquímicas (Zhang et al., 2021).

Após a morte, diversas alterações celulares ocorrem. A interrupção da circulação sanguínea provoca hipóxia sistêmica, desencadeando a falência dos processos aeróbicos e iniciando a autólise celular. Esse cenário favorece a multiplicação de determinados microrganismos anaeróbios e a inibição ou morte de outros tipos celulares sensíveis à ausência de oxigênio (Javan et al., 2016). A hipóxia favorece a proliferação de bactérias anaeróbias, que utilizam os nutrientes liberados pela digestão dos tecidos. Essas bactérias, especialmente as pertencentes aos gêneros *Clostridium* e *Bacteroides*, localizam-se predominantemente no trato gastrointestinal e respiratório. São responsáveis pela produção de gases e ácidos orgânicos que causam o inchaço característico do corpo em decomposição e a liberação de secreções cadavéricas (Can et al., 2014).

Além disso, grupos bacterianos como *Bacteroidetes*, *Enterobacteriaceae* e *Staphylococcaceae* podem migrar para outros tecidos e órgãos, incluindo fígado, líquido pericárdico e baço, disseminando-se por meio da corrente sanguínea. Durante esse processo, há também a liberação de substâncias orgânicas voláteis — os compostos orgânicos voláteis (COVs) — que estão diretamente ligados à natureza da microbiota presente e podem servir como indicadores para análises forenses (Paczkowski; Schutz, 2011).

A decomposição ocorre porque, com a morte, cessam os processos fisiológicos responsáveis pela manutenção da homeostase corporal. A falta de energia metabólica torna impossível a regeneração tecidual, permitindo a ação destrutiva de enzimas autolíticas e de microrganismos (Reyes; Mayo, 2023). Em vertebrados, esse processo segue cinco estágios principais: fresco, enfisematoso, decomposição ativa, decomposição avançada e esqueletização. O estágio fresco é caracterizado pela ausência de sinais externos evidentes, mas com alterações bioquímicas internas importantes. Nesse estágio, ocorrem fenômenos como rigor mortis, algor mortis e livor mortis, que são indicadores iniciais da morte.

Durante o período enfisematoso, há acúmulo de gases produzidos pela atividade microbiana, o que causa distensão do corpo. Observa-se também a coloração esverdeada da

pele, formação de bolhas, deslocamento da epiderme e início da ruptura de tecidos. A ação de larvas necrófagas intensifica-se nesse estágio, promovendo a abertura de cavidades corporais e facilitando o avanço da decomposição (Hyde et al., 2013).

Na fase de decomposição ativa, ocorre intensa atividade de insetos e aceleração do metabolismo bacteriano. A digestão do corpo de dentro para fora torna-se evidente, com liberação abundante de fluidos e gases. Em seguida, o estágio de decomposição avançada se caracteriza pela degradação acentuada dos tecidos, restando apenas fragmentos musculares, pele em decomposição e presença de colônias larvais (Finley et al., 2015).

Por fim, no estágio de esqueletização, todas as partes moles já foram consumidas ou degradadas, permanecendo apenas ossos, pele seca e cabelos. O tempo necessário para que esse estágio seja alcançado pode variar de dias a anos, a depender das condições ambientais e do local de deposição (Iam et al., 2017).

O aparecimento de manchas azuladas (hipóstases) no corpo representa um importante marcador para o diagnóstico da morte, podendo também indicar a causa e o tempo do óbito, além da posição postural em que o corpo permaneceu (Adegas; Coxe, 2018). No entanto, a cronologia da decomposição pode variar conforme as condições ambientais e características do corpo. Embora as etapas sejam fisiologicamente comuns, os fatores extrínsecos e intrínsecos determinam o ritmo e a expressão de cada fase (Ioan et al., 2017). Dessa forma, o investigador criminal deve conhecer profundamente a progressão desses estágios, pois o IPM é um dado fundamental no contexto pericial.

Os fenômenos cadavéricos são diretamente modulados por variáveis que podem acelerar ou retardar a decomposição. Entre os fatores ambientais que atuam como moduladores, destacam-se: temperatura, umidade relativa do ar, pH e composição do solo, clima, exposição ao sol, presença de vegetação ao redor, atividade de animais carnívoros e condições de ventilação. Além disso, características do próprio cadáver influenciam o processo, como doenças preexistentes, índice de massa corporal, uso de vestimentas, presença de lesões e uso de drogas ou substâncias químicas (Lauber et al., 2014; Garrido; Naia, 2014).

A temperatura, em especial, exerce grande influência na velocidade dos processos de degradação. Ambientes com temperaturas elevadas favorecem a rápida proliferação de microrganismos e a atividade entomológica, acelerando todas as etapas da decomposição. Em contrapartida, ambientes frios tendem a retardar a atividade microbiana, prolongando o tempo necessário para a progressão dos estágios. Para compensar essa variabilidade térmica, utiliza-se o conceito de graus-dias acumulados (GDA), que permite estimar a decomposição de forma mais padronizada ao considerar o acúmulo de unidades térmicas ao longo do tempo

(Carter et al., 2007).

Com base nessas informações, fica evidente que a estimativa precisa do intervalo post mortem depende de uma abordagem interdisciplinar, que considere aspectos microbiológicos, entomológicos, bioquímicos e ambientais. A decomposição cadavérica, embora siga uma sequência relativamente previsível, está sujeita a múltiplas influências que requerem avaliação cuidadosa e contextualizada por parte do perito forense. Para a perícia criminal, compreender o processo de decomposição é fundamental, uma vez que ele influencia diretamente a preservação e interpretação dos vestígios e, conseqüentemente, toda a investigação criminal (Ferreira, 2012).

2.3 MICROBIOTA, ENTOMOFAUNA E MICROBIOTA NA DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA

A decomposição cadavérica é um processo dinâmico que envolve uma sucessão de microrganismos, insetos e fungos, os quais atuam de maneira sinérgica na degradação da matéria orgânica. As bactérias representam um dos grupos mais importantes nesse processo. Estudos demonstram que diferentes espécies bacterianas habitam regiões distintas do corpo humano após a morte, dependendo das características anatômicas e fisiológicas de cada região (Chun et al., 2015).

Ao longo da decomposição, ocorre uma mudança sucessiva e estruturada da comunidade microbiana, tanto em composição quanto em função metabólica (Novo, 2017). Por serem onipresentes no ambiente e dotada de grande especificidade ecológica, essas bactérias podem ser identificadas e quantificadas com elevada sensibilidade, fornecendo subsídios valiosos para a estimativa do intervalo post mortem (IPM).

As comunidades bacterianas predominantes durante a decomposição pertencem principalmente aos filos Firmicutes, Bacteroidetes, Proteobacteria e Actinobacteria. Nos cadáveres ainda frescos, as Proteobacteria são as mais abundantes. À medida que a decomposição progride, há o predomínio de Bacteroidetes, Firmicutes e Actinobacteria, juntamente com fungos da divisão Ascomycota, que passam a colonizar preferencialmente os tecidos em putrefação (Velsko, 2020; Javan et al., 2016).

Nos estágios iniciais da decomposição, quando ocorre a diminuição de oxigênio nos tecidos, observa-se o crescimento de microrganismos anaeróbios obrigatórios, como as espécies dos gêneros *Clostridium* e *Bacteroides*, provenientes da microbiota endógena do trato gastrointestinal e respiratório (Novo, 2017). Com o avanço da decomposição e o

acúmulo de gases nos órgãos, há um aumento na concentração de *Enterococcus* aeróbios, enquanto bactérias anaeróbias como *Lactobacillus* e *Bacteroides/Prevotella* spp. apresentam redução. O filo Bacteroidetes atinge máxima abundância na fase de esqueletização completa, enquanto Actinobacteria predominam nos restos esqueletizados secos.

Estudos genômicos de comunidades bacterianas associadas a ossadas indicam alterações na composição microbiana ao longo da decomposição. Observa-se, por exemplo, o aumento proporcional de Alphaproteobacteria e a diminuição de Gammaproteobacteria conforme o material cadavérico se esqueletiza. Damann et al. (2015) identificaram a presença de famílias como *Pseudomonadaceae*, *Clostridiaceae*, *Tissierellaceae*, *Caulobacteraceae* e *Sphingobacteriaceae* em restos esqueléticos, todas associadas ao microbioma intestinal. Em ossadas completamente secas, observa-se maior abundância de bactérias sapróbias oriundas do solo. A família *Xanthomonadaceae* também é comumente detectada durante o processo, participando da degradação final dos tecidos (Pechal et al., 2014).

Além da microbiota bacteriana, a decomposição cadavérica oferece um microambiente favorável ao desenvolvimento de insetos necrófagos, que possuem importância forense consolidada. Os dípteros adultos (ordem Diptera) são os primeiros a colonizar o cadáver, atraídos pelos compostos orgânicos voláteis liberados nas primeiras horas após a morte. Esses insetos não apenas se alimentam da matéria orgânica em decomposição, como também realizam oviposição logo após a exposição do corpo ao ambiente, dando origem a larvas que contribuem ativamente para a degradação tecidual (Ururahy-Rodrigues et al., 2008).

As principais famílias de dípteros envolvidas no processo de decomposição são *Calliphoridae*, *Muscidae*, *Sarcophagidae* e *Fanniidae* (Oliveira-Costa, 2011). As larvas de dípteros, especialmente as de *Calliphoridae*, são consideradas bioindicadores precisos do IPM, devido à sua previsível cronologia de desenvolvimento. Além disso, elas promovem a redução significativa da massa corporal durante a fase de decomposição ativa.

Os coleópteros (ordem Coleoptera) ocupam a segunda posição em abundância e frequência durante o processo decompositivo, sendo mais comuns nos estágios avançados da decomposição. Esses insetos atuam como necrófagos secundários, predadores e saprófagos, e sua presença é fundamental para o estudo da decomposição em ambientes naturais. Dentre os coleópteros da subordem Polyphaga, as principais famílias com interesse forense são: *Staphylinidae*, *Scarabaeidae*, *Silphidae*, *Leiodidae*, *Ptiliidae*, *Histeridae*, *Trogidae*, *Nitidulidae* e *Hydrophilidae*, sendo esta última predominante em cadáveres em elevado grau de decomposição (Paula et al., 2020).

Outros insetos de importância forense são os himenópteros, especialmente da família

Formicidae (formigas). Essa família representa mais de 85% dos registros entomológicos em estudos forenses (Soligo; Panigalli 2013). As formigas atuam como predadoras de larvas e ovos de dípteros, interferindo no padrão sucessional típico e podendo retardar a progressão da decomposição (Ribeiro et al., 2017). A ação predatória das formigas deve, portanto, ser considerada na análise entomológica do IPM, pois pode mascarar ou atrasar os sinais esperados de colonização.

Além das bactérias e insetos, os fungos representam uma importante, embora ainda subutilizada, categoria de organismos envolvidos na decomposição. A micologia forense, campo emergente dentro das ciências forenses, tem investigado o papel dos fungos na determinação do tempo de morte. Colônias fúngicas podem se desenvolver sobre ou dentro dos tecidos cadavéricos, apresentando sucessões ecológicas específicas de acordo com as fases da decomposição (Julca, 2016). A ampla disponibilidade de dados sobre as taxas de crescimento e características ecológicas de muitas espécies fúngicas torna possível sua aplicação prática na estimativa do IPM.

Durante a decomposição, os fungos promovem a degradação de material orgânico residual e contribuem para a mineralização e reciclagem de nutrientes. Fungos filamentosos como *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. apresentam elevada capacidade de colonização de substratos com baixo conteúdo nutricional, como pele ressecada e ossos (Moreira Filho, 2008).

Diversos estudos relatam a ocorrência de espécies como *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, *A. flavus*, *Penicillium rugulosum* e *Candida albicans* em cadáveres humanos (Schwarz et al., 2015; Wójcik et al., 2021). Adicionalmente, foram detectadas as espécies *Erotium repens*, *Penicillium* sp. e *Aspergillus terreus* em tecidos e ossos de cadáveres em diferentes estágios (Goebel, 2010; Illana-Esteban, 2013).

A levedura *Candida lipolytica* também tem sido encontrada de forma recorrente em todos os estágios de decomposição cadavérica, reforçando seu potencial como bioindicador fúngico de IPM (Barbedo; Sgarbi, 2010). Esses achados demonstram que a micobiota cadavérica, embora ainda pouco explorada, pode oferecer informações complementares às obtidas por meio da análise entomológica e bacteriana, contribuindo de forma significativa para a elucidação de casos forenses.

2.4 MICOLOGIA FORENSE: POTENCIAL, APLICAÇÕES E DESAFIOS CIENTÍFICOS

A micologia forense é um ramo emergente das ciências forenses que se dedica ao estudo

das comunidades fúngicas associadas à decomposição cadavérica. Seu principal objetivo é contribuir para a estimativa do intervalo post mortem (IPM) e identificar eventos pós-sepultamento, por meio da análise da sucessão de fungos tanto na superfície do corpo quanto no ambiente circundante. Tradicionalmente, os fungos eram considerados apenas em casos de intoxicação por espécies tóxicas ou psicotrópicas. No entanto, estudos contemporâneos demonstram que esses microrganismos também possuem potencial para estimar o IPM, localizar sepultamentos clandestinos, rastrear movimentações do corpo e contribuir em investigações de guerra biológica (Hawksworth; Wiltshire, 2011; Tibbett; Carter, 2003).

O marco inicial da micologia forense moderna foi estabelecido por Van de Voorde e Van Dijck (1982), ao analisarem o crescimento fúngico no cadáver de uma baronesa. Com a identificação de gêneros como *Cladosporium*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Hormodendron*, *Mortierella* e *Penicillium*, os autores conseguiram estimar com precisão o tempo de morte. Desde então, apesar dos avanços científicos, o uso dos fungos em contextos periciais ainda é incipiente em diversas regiões, sobretudo nos países em desenvolvimento, devido à escassez de especialistas, ausência de protocolos padronizados, limitações de bancos de dados regionais e pouca integração entre peritos, micologistas e toxicologistas (Jasim, 2021).

A identificação correta das espécies fúngicas representa um dos principais desafios técnicos. A análise morfológica tradicional, embora relevante, não é suficiente para distinguir espécies com características fenotípicas semelhantes. Nesse contexto, técnicas moleculares, como o sequenciamento da região ITS do DNA ribossomal, têm se mostrado indispensáveis (Tranchida et al., 2021). Contudo, erros taxonômicos em bancos de dados como o GenBank comprometem a acurácia das análises, exigindo curadoria criteriosa. Além disso, a escassez de guias morfológicos adaptados à realidade local dificulta o trabalho pericial. Para garantir a confiabilidade dessas evidências em processos judiciais, é fundamental que o Judiciário reconheça sua validade científica. Isso requer padronização metodológica, validação estatística dos dados e capacitação contínua dos profissionais envolvidos (Tranchida et al., 2021).

A precisão na estimativa do IPM depende de múltiplos fatores: identificação correta das espécies, condições ambientais (temperatura, umidade, pH), tipo de substrato e forma de acondicionamento do cadáver (Silva e Minter, 1995; Ayon, 2019; Bass, 1997). No entanto, poucos estudos abordam a taxa de crescimento fúngico em tecidos humanos submetidos a diferentes condições ambientais (Tranchida e Cabello, 2019). Uma alternativa para suprir essa lacuna é o uso de modelos animais, como suínos, que apresentam semelhanças anatômicas e fisiológicas com os humanos, incluindo estrutura da pele, microbiota intestinal e padrão de

decomposição (Campobasso et al., 2001; Menezes, 2007).

Esses modelos são particularmente úteis para simulações em diferentes microclimas, permitindo a avaliação da colonização fúngica ao longo das fases cadavéricas. Metcalf et al. (2016) confirmam que os padrões sucessivos observados em suínos se assemelham aos encontrados em cadáveres humanos, reforçando a sua robustez em simulações forenses.

A sucessão fúngica é ecologicamente previsível e depende da disponibilidade de nutrientes e das condições ambientais. Julca (2016) e Goebel et al. (2013) destacam que os fungos possuem exigências ecológicas específicas, padrões sazonais e tempos definidos de colonização, características fundamentais para sua aplicação na Tanatologia. Ayon (2019) acrescenta que o crescimento fúngico está diretamente relacionado aos substratos disponíveis, conferindo aos fungos valor como bioindicadores ambientais e temporais.

Para garantir a validade das análises, a coleta de amostras deve obedecer a rígidos protocolos de biossegurança e controle rigoroso do transporte e armazenamento das amostras. Segundo Sidrim (2004), é recomendável a amostragem de áreas como couro cabeludo, unhas, mucosas, genitália, cartilagens, ossos, além de líquidos corporais (líquor, sangue, urina) e excretas (fezes, escarro). Durante a fase de esqueletização, o crescimento fúngico pode ser inibido, mas a presença de espécies sapróbias resistentes, como *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Candida* spp., ainda permite inferências retroativas sobre os estágios anteriores da decomposição (Barbosa et al., 2012; Schwarz et al., 2015).

Além da identificação das espécies, outros parâmetros micológicos como o padrão de frutificação e a metabolização de compostos nitrogenados contribuem para a estimativa do tempo e local da morte. Carter e Tibbett (2003) classificam os fungos em dois grupos conforme sua frutificação: precoce — Zygomycota, Deuteromycota e Ascomycota — predominante nas fases iniciais; e tardia — Basidiomycota — associada às fases finais da decomposição, como a esqueletização.

Na prática forense, a micologia pode ser aplicada em diversas situações. Um exemplo é a estimativa do IPM por meio da sucessão fúngica em tecidos cutâneos e mucosas, especialmente útil quando a entomofauna está ausente ou prejudicada (Ayon, 2019). Outro uso relevante é a localização de corpos ocultos, a partir da análise de alterações micológicas no solo, estratégia eficaz em casos de sepultamentos clandestinos (Metcalf et al., 2016).

Esporos encontrados em vestimentas, calçados ou objetos também podem ser utilizados como vestígios ambientais, auxiliando a vincular suspeito à cena do crime (Tranchida et al., 2021). Adicionalmente, a detecção de fungos com distribuição geográfica restrita em locais não usuais pode indicar movimentações do corpo post mortem ou modificações ambientais

durante a decomposição (Tranchida et al., 2021).

Para consolidar a micologia forense como ferramenta pericial robusta, é fundamental a criação de bancos de dados regionais, desenvolvimento de protocolos padronizados, capacitação técnica de peritos e cooperação entre universidades, laboratórios e órgãos judiciais (Metcalf et al., 2016; Tranchida et al., 2021). A padronização desses procedimentos permitirá que a micologia passe a compor o núcleo probatório da investigação criminal, e não apenas como evidência complementar.

3 METODOLOGIA

3.1 APROVAÇÃO ÉTICA

O projeto foi submetido à apreciação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), com o envio da documentação exigida: projeto de pesquisa completo, formulário de doação de carcaça animal e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), devidamente assinado pelo doador dos animais. A submissão ocorreu por meio do e-mail institucional da comissão (ceua@ifpi.edu.br). Ressalta-se que, devido à natureza do estudo e ao uso de carcaças obtidas de abate comercial, não foi requerida aprovação formal, apenas comunicação institucional para ciência da proposta.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi desenvolvido nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Pedro II, localizado na rua Antonino Martins de Andrade, nº 750, Bairro Engenho Novo, CEP 64.255-000, Pedro II, porção norte do estado do Piauí, Brasil. As coordenadas geográficas gerais da área institucional são 04°25'29" de latitude Sul e 41°27'31" de longitude Oeste, com altitude média de 603 metros acima do nível do mar (Google Maps, 2025).

Figura 1- Localização do Instituto Federal do Piauí- IFPI campus Pedro II



Fonte: Google Maps (2024)

A região de Pedro II exibe clima tropical chuvoso, alternando entre períodos úmidos e secos, com uma pluviosidade média anual de 1.000 mm, concentrada entre dezembro e maio (Aguiar; Gomes, 2004). As temperaturas variam de 18°C durante o período chuvoso a 30°C nos meses de estiagem (Freitas, Gomes e Aquino, 2016), o que influencia diretamente os processos de decomposição orgânica.

O solo predominante na área de pesquisa é classificado como Neossolo Regolítico distrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, e EMBRAPA 2018) . Trata-se de um solo raso, com baixa fertilidade natural, capacidade limitada de retenção hídrica e alta susceptibilidade à compactação, especialmente em locais sem cobertura vegetal. Tais atributos físico-químicos afetam significativamente as condições microambientais, como a temperatura e a umidade do solo, impactando a dinâmica da decomposição cadavérica, sobretudo nas camadas superficiais onde as carcaças foram expostas.

Foram selecionadas duas microáreas experimentais contíguas, distando cerca de 6 metros entre si, com o objetivo de manter uniformidade nas propriedades edáficas, reduzindo interferências ambientais externas e isolando a incidência solar como principal variável experimental:

- Área 1 – Ensolarada: Local exposto à radiação solar durante todo o dia, com solo

visivelmente compactado, seco e sem cobertura vegetal significativa. Coordenadas: 06°42'06,8" S e 79°55'08,7" W (Figura 2).

•Área 2 – Sombreada: Local protegido da insolação direta devido à presença de árvores adjacentes, apresentando solo mais úmido e parcialmente coberto por vegetação rasteira. Coordenadas: 06°42'07,2" S e 79°55'09,1" W (Figura 3).

A distância entre os pontos foi aferida validada com ferramentas de georreferenciamento, assegurando que ambas as áreas compartilhassem as mesmas condições climáticas macroambientais. Essa padronização permitiu investigar de forma controlada os efeitos da variação da exposição solar sobre a sucessão fúngica durante o processo de decomposição, simulando cenários reais de ocultação de cadáveres sob diferentes condições ambientais.

Figura 2- Registro da instalação experimental no IFPI – Campus Pedro II, exposição ao sol.



Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: carcaça de suíno em decomposição acondicionada em gaiola metálica, posicionada em ambiente exposto à radiação solar direta.

Figura 3- Registro da instalação experimental no IFPI – Campus Pedro II, exposição a sombra



Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: carcaça de suíno em decomposição acondicionada em gaiola metálica, posicionada em ambiente sombreado.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a execução do experimento, foram utilizadas duas carcaças de suínos domésticos juvenis (*Sus scrofa* L.), com peso médio aproximado de 6 kg cada, visando simular o equivalente morfológico e fisiológico de corpos humanos infantis, conforme amplamente adotado em estudos de micologia e entomologia forense (Goebel et al., 2013; Rodrigues, 2014). Os animais foram doados por um estabelecimento comercial de abate: Frigorífico Wanderson Carnes, localizado no município de Pedro II – PI, abatidos seguindo os trâmites legais e sanitários para consumo humano. Não houve intervenção experimental antes da morte, o que assegurou o controle preciso sobre o momento do óbito, elemento essencial para estimativas acuradas do tempo decorrido de decomposição, também conhecido como intervalo post mortem (Tranchida et al., 2021).

Imediatamente após o abate, as carcaças foram acondicionadas em caixas isotérmicas de polietileno expandido, com isolamento térmico e vedação eficiente, assegurando a preservação da temperatura corporal e a integridade do material biológico durante o transporte. O deslocamento até o local do experimento foi realizado no mesmo dia em caminhonete equipada com compartimento ventilado, reduzindo ao mínimo qualquer

variação térmica que pudesse influenciar no início do processo de decomposição.

Ao chegarem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) – Campus Pedro II, as carcaças foram alocadas individualmente em gaiolas experimentais confeccionadas em estrutura de ferro galvanizado e revestidas com malha de tela metálica de 1,5 cm. As dimensões de cada gaiola foram de 110 cm de comprimento, 70 cm de largura e 70 cm de altura (Figura 4).

Figura 4-Gaiola construída em ferro e tela metálica



Fonte: próprio autor (2024)

Legenda: Gaiola utilizada para proteção do suíno depositado na área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPI) Campus Pedro II, Piauí.

Tais estruturas foram projetadas especificamente para permitir a livre entrada da entomofauna cadavérica – como moscas e besouros necrófagos – e, simultaneamente, impedir o acesso de vertebrados carniceiros de médio e grande porte que poderiam comprometer a integridade do experimento (Rodrigues, 2014; Goebel et al., 2013). Além disso, as gaiolas contavam com sistema de abertura superior por meio de dobradiças, facilitando o acesso ao material para a realização das coletas periódicas de amostras micológicas.

Cada carcaça foi envolvida com saco plástico simulando situações reais de ocultação de cadáveres humanos infantis – contexto frequentemente explorada em experimentos controlados com cadáveres ou modelos animais, dada a relevância da cobertura plástica como fator modificador da decomposição e da colonização fúngica (Jasim et al., 2021). As gaiolas foram dispostas diretamente sobre o solo natural, sem qualquer tipo de isolante térmico ou

barreira física, assegurando o contato direto das carcaças com o ambiente edáfico, o que permite a atuação da microbiota do solo e o intercâmbio térmico necessário à decomposição natural.

O monitoramento das variáveis microambientais foi realizado por meio da instalação de instrumentos específicos em ambas as áreas experimentais. Foram utilizados termômetros analógicos fixados lateralmente às gaiolas, higrômetros digitais com capacidade de aferição precisa da umidade relativa do ar. Os registros desses parâmetros foram realizados nos mesmos horários das coletas microbiológicas, possibilitando a análise das condições ambientais ao longo do processo de decomposição e suas correlações com o desenvolvimento fúngico observado. Tais procedimentos metodológicos se fundamentam em protocolos consolidados nas áreas da entomologia, micologia e tanatologia forense (Pitt e Hocking, 2009; Hawksworth e Wiltshire, 2011), possibilitando a reprodutibilidade do experimento e a validação dos dados obtidos sob diferentes condições de luminosidade e umidade.

3.4 PROCEDIMENTO DE COLETA

As coletas foram realizadas ao longo de 50 dias consecutivos, compreendendo o período de 06 de agosto a 25 de setembro de 2024, totalizando 88 eventos de amostragem. O intervalo entre as coletas seguiu foi de cinco dias, respeitando as condições climáticas locais e a viabilidade logística do experimento. Todas as coletas ocorreram no turno da manhã, entre 9h30min e 10h30min, faixa horária escolhida por apresentar menor oscilação térmica diária e garantir padronização temporal no monitoramento da atividade fúngica e das variáveis ambientais.

As amostras de material biológico foram coletadas com o auxílio de swabs estéreis de algodão, seguindo critérios de assepsia e biossegurança (Figura 5). A técnica consistiu na fricção rotativa moderada do swab sobre quatro sítios anatômicos pré-determinados: mucosa oral (língua e palato), mucosa anal, região abdominal e pele da região dorsal. A seleção dessas regiões anatômicas se fundamentou em protocolos de microbiologia médica e micologia diagnóstica, os quais apontam tais áreas como mais propensas à colonização precoce por fungos decompositores, dada sua maior umidade, vascularização e exposição ao ambiente (Sidrim e Rocha, 2004; Hawksworth e Wiltshire, 2011).

Figura 5- Exemplo de coleta de swab otológico realizado no ouvido direito de um guaxinim (*Procyon cancrivorus*). [1]



Fonte: Lima *et al* (2012)

Cada swab, após a coleta, foi imediatamente inserido em um tubo de cultura com meio de transporte adequado devidamente rotulado com código identificador da amostra, data, horário, região anatômica e condição ambiental (sombra ou sol). As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Biologia do IFPI – Campus Pedro II, para realização dos procedimentos de semeadura em meios de cultura seletivos e cromogênicos.

3.5 ANÁLISE LABORATORIAL

As amostras obtidas por swabs estéreis foram imediatamente processadas no Laboratório de Biologia e Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) – Campus Pedro II, sob condições controladas de biossegurança e assepsia, visando o isolamento, crescimento e posterior identificação morfológica dos fungos presentes nas carcaças em decomposição.

Para o crescimento micelial de fungos filamentosos e leveduriformes, foi inicialmente utilizado o meio de cultura YG (Yeast Glucose), um meio não seletivo de uso comum em laboratórios de microbiologia fúngica. A composição do meio foi a seguinte: 2,5 g de extrato de levedura, 5 g de glicose e 2,5 g de ágar, dissolvidos em 200 mL de água destilada. Após completa homogeneização da mistura, realizada em agitador magnético com aquecimento, o pH foi aferido e ajustado para 6,5, valor ótimo para crescimento fúngico geral. Em seguida, o meio foi autoclavado a 121 °C por 20 minutos, sob pressão de 1 atm, conforme os padrões da microbiologia clássica (Hoog *et al.*, 2000). O meio estéril foi então vertido em placas de

Petri em câmara de fluxo laminar previamente descontaminada com álcool 70% e luz UV.

Além do meio YG, foi utilizado o meio seletivo cromogênico CHROMagar™ Candida, desenvolvido especificamente para a identificação presuntiva de espécies do gênero Candida a partir de enzimas específicas de determinadas espécies (Odds e Bernaerts, 1994).

O uso do CHROMagar™ é reconhecido como ferramenta eficaz para diagnósticos micológicos rápidos, especialmente em estudos de prevalência de leveduras patogênicas em amostras clínicas ou ambientais (Pfaller et al., 1996).

Após a semeadura das amostras nos respectivos meios, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica tipo BOD, à temperatura constante de 25 °C, em ambiente escuro, por um período de 10 dias. Esse protocolo permitiu o monitoramento da velocidade de crescimento, morfologia das colônias e interações entre fungos, características úteis para a diferenciação morfológica inicial dos gêneros isolados.

3.5.1 Caracterização macroscópica

A caracterização macroscópica das colônias foi realizada por inspeção visual direta após o período de incubação das placas nos meios de cultura YG e CHROMagar™. Foram avaliadas características como a cor da colônia (tanto da superfície quanto do verso), textura (aveludada, cerosa, algodonosa, compacta, entre outras), formato (circular, irregular, lobulado) e a presença de difusão de pigmentos no meio (Figura 6). Tais atributos morfológicos macroscópicos são úteis como indicadores preliminares da identidade taxonômica, sobretudo quando combinados com a avaliação microscópica, conforme descrito por Hoog et al. (2000).

Figura 6-Análise morfológica das características das colônias fúngicas





Fonte: Próprio autor (2024)

3.5.2 Caracterização microscópica

A análise microscópica foi realizada a partir da montagem de lâminas coradas com azul de lactofenol. Pequenas porções das colônias isoladas foram retiradas com alça micológica estéril e transferidas para lâminas contendo o corante, posteriormente cobertas com lamínulas. As observações foram conduzidas utilizando microscópio óptico binocular com objetiva de 40x.

Foram observadas estruturas fúngicas típicas, como hifas septadas ou cenocíticas, esporos e conídios. As hifas foram avaliadas quanto à presença de septações e pigmentação, enquanto as estruturas de esporulação foram usadas para diferenciar gêneros, como *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. A observação microscópica permitiu um refinamento da identificação, com base em chaves morfológicas clássicas e atualizadas (Pitt e Hocking, 2009; Hoog et al., 2000).

3.5.3 Identificação de Leveduras

Para a identificação presuntiva das leveduras do gênero *Candida*, foi utilizado o meio cromogênico CHROMagar™ *Candida*, que permite diferenciação visual com base na coloração das colônias, produzida pela metabolização de substratos cromogênicos específicos. Após incubação das amostras, foram identificadas colônias verdes claras indicativas de *Candida albicans*, azul-escuras compatíveis com *Candida tropicalis*, róseas secas sugestivas de *Candida krusei*, e colônias pequenas rosadas, características de *Candida glabrata*.

A diferenciação foi baseada na comparação com a carta de cores do fabricante e protocolos laboratoriais validados, como os descritos por Odds e Bernaerts (1994) e Pfaller et al. (1996). Essa metodologia cromogênica é amplamente aceita como uma ferramenta eficiente para triagem rápida de leveduras, proporcionando resultados confiáveis quando

combinada à morfologia microscópica.

3.6 Análise dos Dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas no Microsoft Excel 2013, integrando informações das variáveis ambientais (temperatura ambiente, temperatura do solo e umidade relativa do ar), dados de identificação das amostras (data, horário, local, região anatômica) e os resultados laboratoriais (tipo de fungo, características morfológicas e espécie presumida).

A análise foi descritiva e comparativa, com foco na frequência e distribuição dos fungos durante as fases da decomposição cadavérica (enfisematoso, ativo, avançado e seco), nos dois ambientes experimentais (sol e sombra). Os dados fúngicos foram organizados em tabelas e representados por gráficos de barras e linhas, facilitando a visualização da sucessão ecológica micológica e das diferenças entre os microambientes.

A presença ou ausência dos fungos, bem como sua persistência e variação entre os locais e fases, foram comparadas para identificar padrões que pudessem indicar sua potencial aplicação como bioindicadores do intervalo post mortem (IPM). Embora não tenham sido realizados testes estatísticos, as tendências observadas permitiram inferências claras sobre o efeito das condições ambientais na dinâmica fúngica da decomposição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da dinâmica fúngica das carcaças de suínos expostas ao sol e à sombra revelou padrões específicos de sucessão microbiana relacionados às diferentes fases da decomposição e às condições microambientais. Essa dinâmica reflete a influência direta de fatores abióticos como temperatura, umidade relativa e sucessão das comunidades fúngicas (Wilson et al., 2007; Beckett et al., 2022; Hawksworth et al., 2015). Os resultados demonstraram que tanto leveduras quanto fungos filamentosos apresentaram comportamentos ecológicos distintos, com variações marcantes entre os dois ambientes avaliados e ao longo das quatro principais fases cadavéricas: enfisematoso, decomposição ativa, avançada e seco/esqueletização (Figuras 7 e 8).

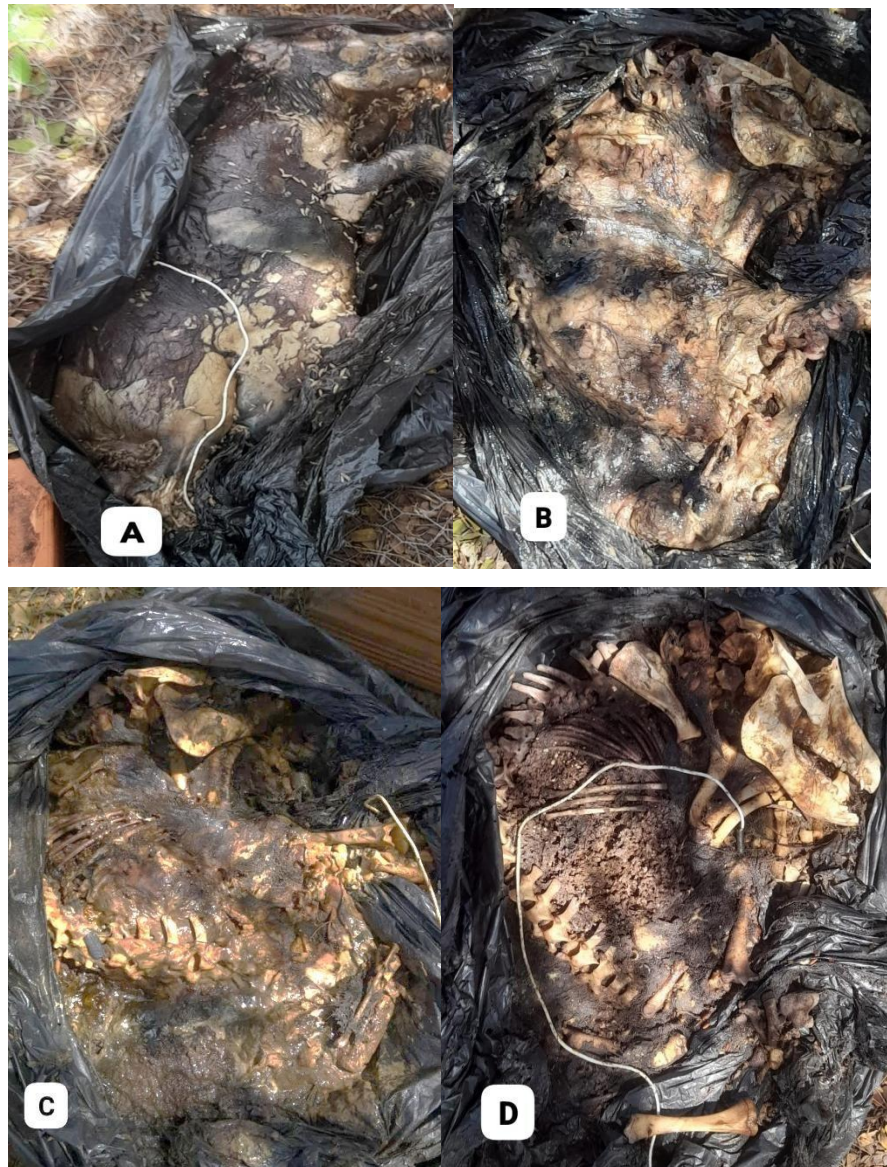
Figura 7-Cinco estágios de decomposição observados no suíno exposto ao sol



Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: Suíno acondicionado no interior de um saco plástico depositado Instituto Federal do Piauí (IFPI), campus Pedro II: (A) Enfisematoso, (B) Decomposição ativa, (C) Decomposição avançada, (D) Seco.

Figura 7- Cinco estágios de decomposição observados no suíno exposto a sombra

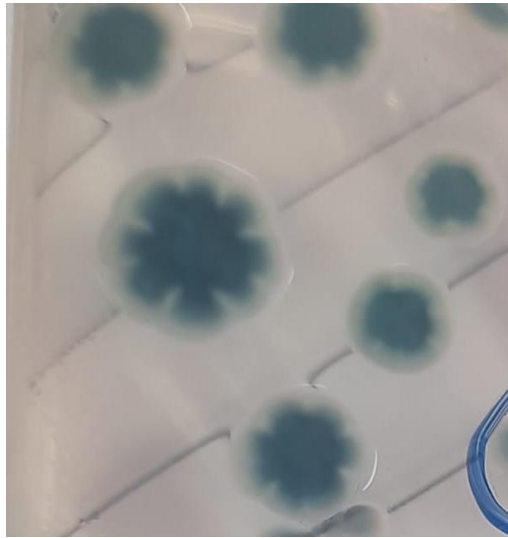


Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: Suíno acondicionado no interior de um saco plástico depositado Instituto Federal do Piauí (IFPI), campus Pedro II: (A) Enfisematoso, (B) Decomposição ativa, (C) Decomposição avançada, (D) Seco.

O Gráfico I mostra a ocorrência de fungos leveduriformes e filamentosos na carcaça de suíno exposta ao sol durante as quatro fases da decomposição. *Candida albicans* (Figura 9) foi a única levedura presente em todas as fases (100%), indicando sua alta resistência ambiental e capacidade de adaptação a diferentes condições de degradação. Esse comportamento confirma seu caráter oportunista e presença frequente na microbiota de animais homeotérmicos (Seyedmousavi et al., 2018), além de sua conhecida plasticidade fenotípica frente a variações de pH, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Bradford et al., 2017; Villa et al., 2020).

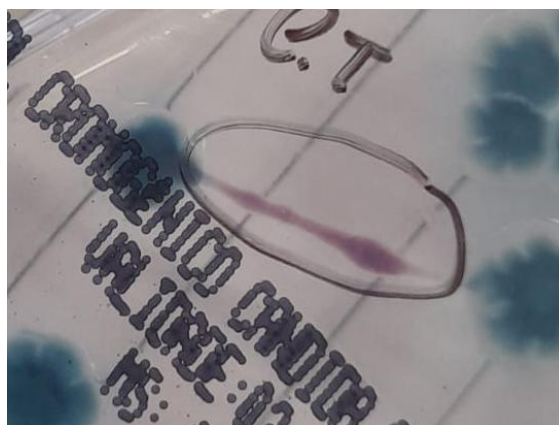
Figura 8- *Candida albicans*



Fonte: Próprio autor (2025)

Em contraste, *C. tropicalis* (Figura 10) apareceu apenas em uma fase (25%), sugerindo menor tolerância ecológica, enquanto *C. glabrata* e *C. krusei* não foram identificadas em nenhuma fase (0%). A ausência dessas espécies pode estar relacionada às condições ambientais adversas do local ensolarado, onde a umidade relativa foi de apenas 16% (Gráfico IV) e a temperatura atingiu 36 °C (Gráfico III), reforçando a influência do estresse hídrico na limitação ecológica de certos fungos.

Figura 9- *Candida tropicalis*



Fonte: Próprio autor (2025)

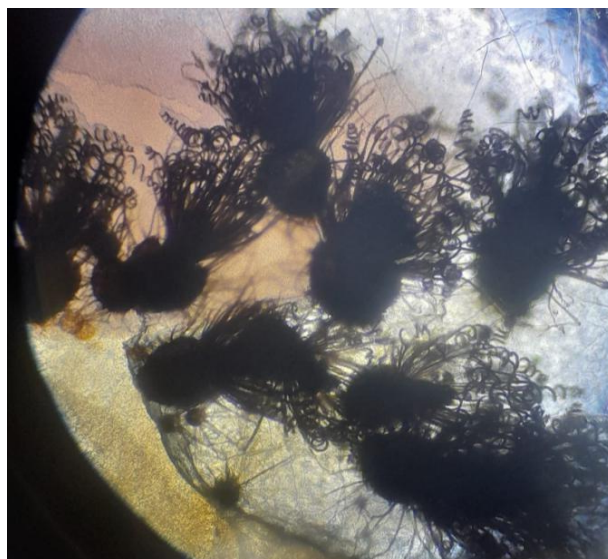
Entre os fungos filamentosos, *Aspergillus* sp. e *Chaetomium* sp. (Figura 11 e 12) foram os mais frequentes, aparecendo em três das quatro fases da decomposição (75%), desde a fase ativa até a esqueletização. *Aspergillus* sp. é conhecido por ser um fungo comum em todo o mundo, tolerante ao calor e à baixa umidade, frequentemente encontrado em materiais em decomposição (Kosmidis et al., 2011; Latgé e Chamilos, 2019). *Chaetomium* sp., por sua vez, atua sobre restos vegetais e materiais orgânicos ao redor do corpo, como folhas, cabelos, roupas e madeira, o que explica sua presença nas fases mais avançadas da decomposição (Borges et al., 2010).

Figura 10-*Aspergillus* sp.



Fonte: Próprio autor (2024)

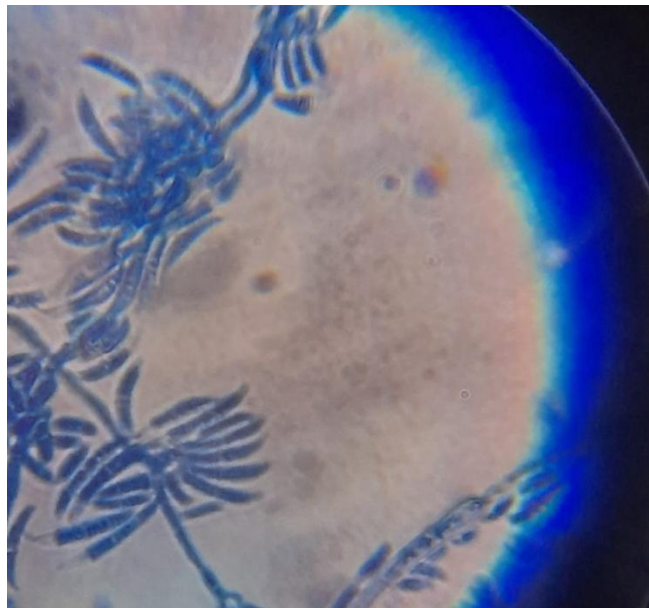
Figura 11- *Chaetomium* sp.



Fonte: Próprio Autor (2024)

Já *Fusarium* sp. (Figura 13) foi identificado na fase enfisematosa e na fase seca (50% das fases), indicando que pode colonizar tanto tecidos no início quanto nos estágios finais da decomposição. Embora seja mais conhecido como fungo de plantas, estudos recentes mostram que *Fusarium* sp. também pode atuar como decompositor de matéria animal, especialmente em regiões tropicais (Cighir et al., 2023).

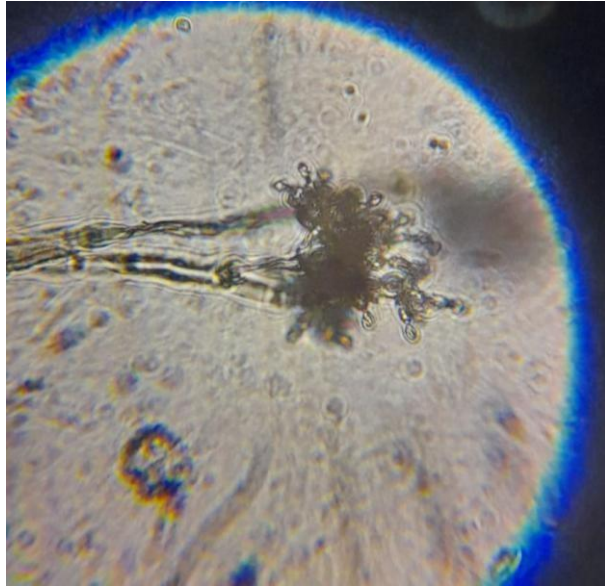
Figura 12-*Fusarium* sp.



Fonte: Próprio autor (2024)

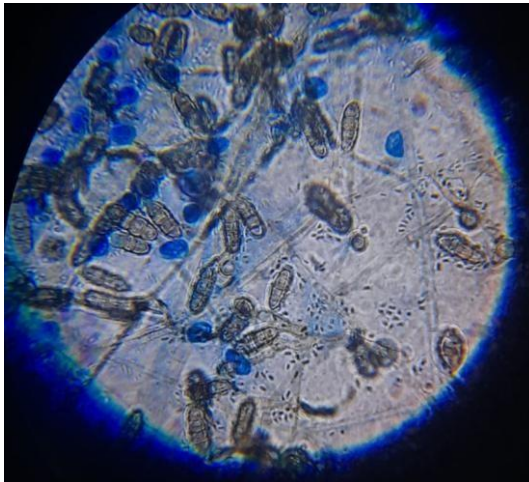
Penicillium sp. (Figura 14) foi encontrado nas fases ativa e avançada (cerca de 50%), mas não apareceu na fase seca, o que indica que tolera moderadamente a falta de umidade, mas não resiste bem a ambientes muito secos (Moretti, 2016). Já *Helminthosporium* sp., *Rhizopus* sp., *Scopulariopsis* sp. e *Trycophyton* sp. (Figuras 15,16,17 e 18) foram observados apenas na fase de esqueletização (25%), sugerindo que preferem tecidos mais secos e degradados (Carroll e Wicklow,1992), sendo classificados como sapróbios e anemófilos típicos do solo e de resíduos orgânicos (Lobato et al., 2009).

Figura 13-*Penicillium* sp.



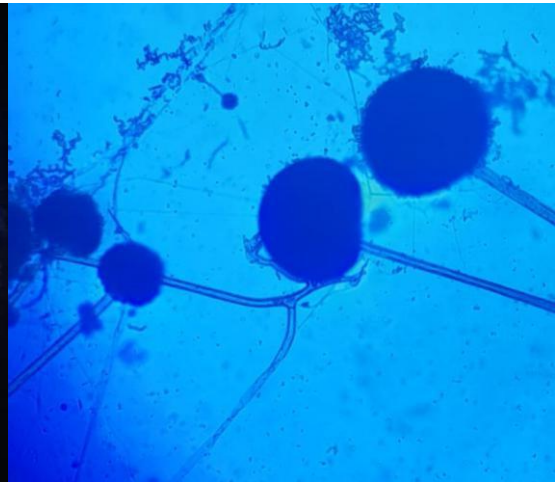
Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 14-*Helminthosporium* sp.,

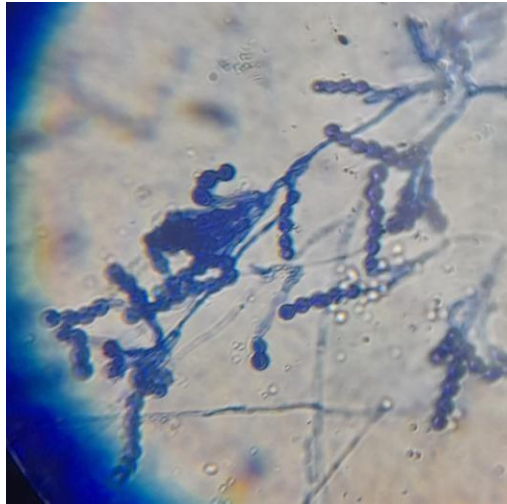


Fonte: Próprio autor (2024)

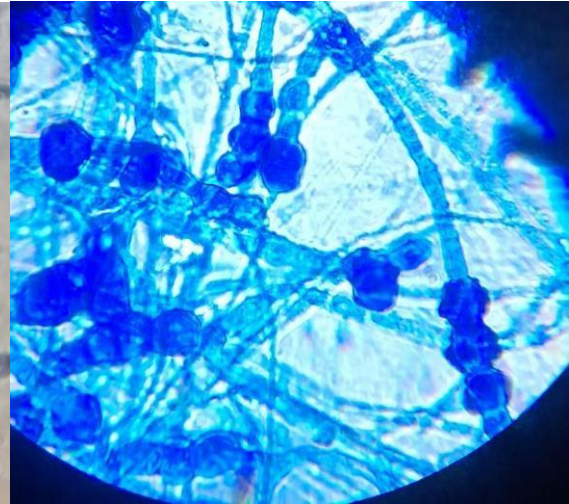
Figura 15-*Rhizopus* sp.



Fonte: Próprio autor(2024)

Figura 16-*Scopulariopsis* sp.

Fonte: Próprio autor (2024)

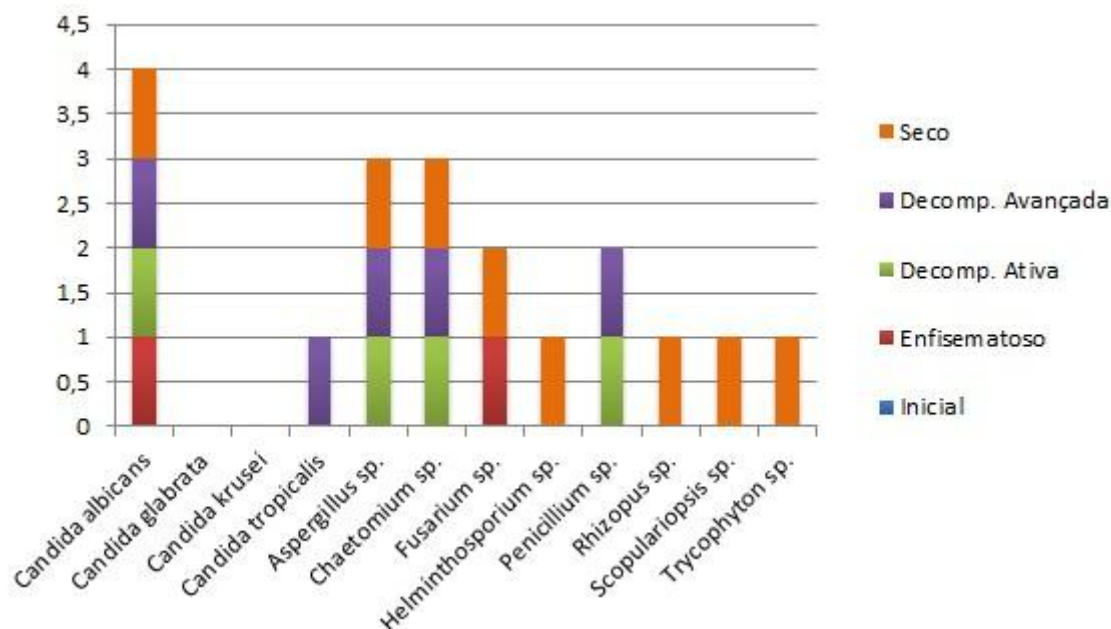
Figura 17-*Trycophyton* sp.

Fonte: Próprio autor (2024)

Scopulariopsis sp. e *Trycophyton* sp. são conhecidos por crescerem em materiais ricos em queratina, como pele e pelos, comuns nas últimas fases da decomposição (Chanyachailert et al., 2023). Em comparação aos estudos de Goebel et al. (2013) e Rodrigues (2014), este trabalho identificou mais diversidade fúngica, graças ao uso do meio cromogênico CHROMagar™, que permite distinguir espécies de *Candida* com base na cor e morfologia das colônias, oferecendo mais precisão e detalhamento.

Os dados evidenciam a relevância da sucessão fúngica como indicadora do estágio de decomposição e da influência das condições ambientais extremas, como calor e baixa umidade, sobre a diversidade microbiana (Kato et al., 2023; Hawksworth et al., 2015). A identificação de espécies resistentes, como *Aspergillus* sp. e *Chaetomium* sp., associadas a fases mais secas e avançadas, contribui para consolidar o uso da micologia forense como suporte na estimativa do IPM em ambientes tropicais e abertos (Kosmidis et al., 2011; Latgé e Chamilos, 2019).

Gráfico 1- Representação da ocorrência de fungos leveduriformes e filamentosos isolados da carcaça suína exposta à luz solar direta.



Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: as quatro principais fases da decomposição cadavérica: 1 – enfisematosa, 2 – ativa, 3 – avançada e 4 – seca/esqueletização. . As colorações utilizadas no gráfico correspondem a cada fase: vermelho (fase enfisematosa), verde (fase ativa), lilás (fase avançada), laranja (fase seca/esqueletização) e azul claro (presença transversal ou persistente). Os dados ilustram a frequência e persistência dos táxons micológicos em diferentes estágios da decomposição, permitindo a análise da sucessão fúngica em ambiente aberto e sob intensa radiação solar.

A análise dos dados da Tabela I, que apresenta a distribuição dos fungos por região corporal da carcaça suína exposta ao sol, revela padrões ecológicos distintos de colonização fúngica. Esses padrões são modulados pela anatomia do cadáver, pelas condições microambientais específicas de cada região e pela sucessão temporal do processo de decomposição. A relação entre temperatura, umidade e exposição solar influencia diretamente a composição e o ritmo de colonização das comunidades fúngicas, como demonstrado por Carter et al. (2008) e Metcalf et al. (2016).

Na fase inicial da decomposição, não foram encontrados fungos nas regiões analisadas (boca, peito, nádegas e abdômen), o que está de acordo com a presença predominante de bactérias anaeróbias nos primeiros dias pós-morte. Essas bactérias competem por nutrientes e liberam substâncias que inibem o crescimento de fungos, como já relatado por Finley et al.

(2015).

Na fase enfisematosa, o primeiro e único fungo filamentoso identificado foi *Fusarium* sp., inicialmente na região da boca e abdômen. A boca, por ser uma área aberta e ventilada, facilita a entrada de esporos, principalmente em locais quentes e secos. *Fusarium* sp., apareceu nos dias mais quentes (36 °C), reforçando sua resistência ao calor e à baixa umidade (Moreno, 2019; Cighir et al., 2023).

A partir da fase ativa da decomposição, observou-se um aumento na diversidade de fungos, com a presença simultânea de *Candida albicans* nas nádegas e pele, *Penicillium* sp. na pele, *Chaetomium* sp. nas nádegas e *Aspergillus* sp. em outras regiões do corpo. Esse padrão indica uma transição para um estágio mais ativo da decomposição, com liberação de fluidos, aumento do pH e maior atividade microbiana. Embora geralmente associada às mucosas, *C. albicans* também pode atuar como decompositor oportunista em tecidos queratinizados quando há umidade moderada (Sudbery, 2011; Rodrigues et al., 2014).

Já *Penicillium* sp. é conhecido por produzir compostos antimicrobianos e se desenvolver em tecidos parcialmente degradados (Silva et al., 2010). Na fase avançada, a diversidade fúngica foi ainda maior, com a presença de *Aspergillus* sp., *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Chaetomium* sp. e *Penicillium* sp. em diferentes regiões. O abdômen e o peito mostraram maior riqueza de fungos, provavelmente por conterem tecidos ricos em colágeno e celulose, substratos preferidos por *Chaetomium* sp (Silva et al., 2007).

Na fase seca, não houve uma redução significativa na diversidade fúngica, com predominância de *Aspergillus* sp. em todas as regiões do corpo e persistência de *Candida albicans* apenas nas nádegas. Isso está de acordo com estudos que mostram que *Aspergillus* sp. é altamente resistente à seca, graças à produção de esporos duráveis e proteínas de choque térmico (Kosmidis e Denning, 2017; Tranchida et al., 2021). A permanência de *C. albicans* nas nádegas pode estar ligada à retenção de umidade nesse local, o que favorece a formação de biofilmes e clamidósporos (Sudbery, 2011).

Os fungos – *Chaetomium* sp., *Helminthosporium* sp, *Rhizopus* sp., *Trycophyton* sp. e *Scopulariopsis* sp. – foram encontrados apenas na fase seca. Os dados também mostram que cada parte do corpo cria um microambiente diferente, influenciando quando e quais fungos aparecem.

A boca e o abdômen apresentaram colonização mais precoce e maior diversidade, possivelmente pela maior exposição e acúmulo de fluidos. Já as nádegas concentraram fungos mais sensíveis à seca, como leveduras (Latgé e Chamilos, 2019). A colonização diferenciada entre as regiões anatômicas reflete microambientes distintos que modulam o desenvolvimento

fúngico. Essa heterogeneidade espacial amplia o potencial da micologia forense ao possibilitar análises regionais da carcaça, favorecendo maior precisão na estimativa do IPM a partir de padrões sucessórios localizados (Metcalf et al., 2016; Pechal et al., 2018).

Tabela 1- Distribuição espacial e temporal das espécies fúngicas isoladas da carcaça suína exposta à luz solar direta

LOCAIS DE COLETA - SOL	INICIAL				ENFISEMATOSO				DECOMPOSIÇÃO ATIVA				DEC. AVANÇADA				SECO			
	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A
LEVEDURAS																				
<i>Candida albicans</i>								X		X		X			X					X
<i>Candida glabrata</i>																				
<i>Candida krusei</i>																				
<i>Candida tropicalis</i>													X							
FILAMENTOSO																				
<i>Aspergillus sp.</i>										X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chaetomium sp.</i>												X		X						
<i>Fusarium sp.</i>					X	X														
<i>Helminthosporium sp.</i>																				X
<i>Penicillium sp.</i>									X				X							
<i>Rhizopus sp.</i>																X				
<i>Scopulariopsis sp.</i>																	X	X		
<i>Trycophyton sp.</i>																		X		

Fonte: próprio autor (2024)

Legenda: as diferentes fases da decomposição cadavérica. As regiões corporais analisadas foram: mucosa oral (B), superfície cutânea (P), região nádegas (N) e superfície abdominal (A). A presença dos fungos foi registrada por meio do símbolo “X”, indicando sua ocorrência em determinada fase e região anatômica. A organização dos dados permite observar padrões de colonização fúngica associados ao estágio de decomposição e ao microambiente corporal específico.

A análise do Gráfico II, referente à carcaça mantida à sombra, mostra uma comunidade fúngica mais diversa e marcada por uma sucessão seletiva ao longo da decomposição, quando comparada à carcaça exposta ao sol. *Candida albicans* esteve presente em todas as fases (100%), indicando sua alta resistência e adaptação a ambientes mais estáveis, como já observados por Carter e Tibbett (2014). Já *Candida glabrata*, *C. krusei* e *C. tropicalis* apareceram em apenas uma fase cada (25%), o que sugere que essas espécies ocupam nichos específicos favorecidos pelas condições do ambiente sombreado, que apresentou umidade de até 50% e temperatura moderada (26–30 °C). De acordo com Alves (2015), locais mais úmidos favorecem o crescimento de leveduras menos resistentes à seca, como algumas espécies de *Candida*, o que explica a maior diversidade fúngica na carcaça à sombra. Além disso, a alternância das espécies entre as fases da decomposição indica um padrão de sucessão

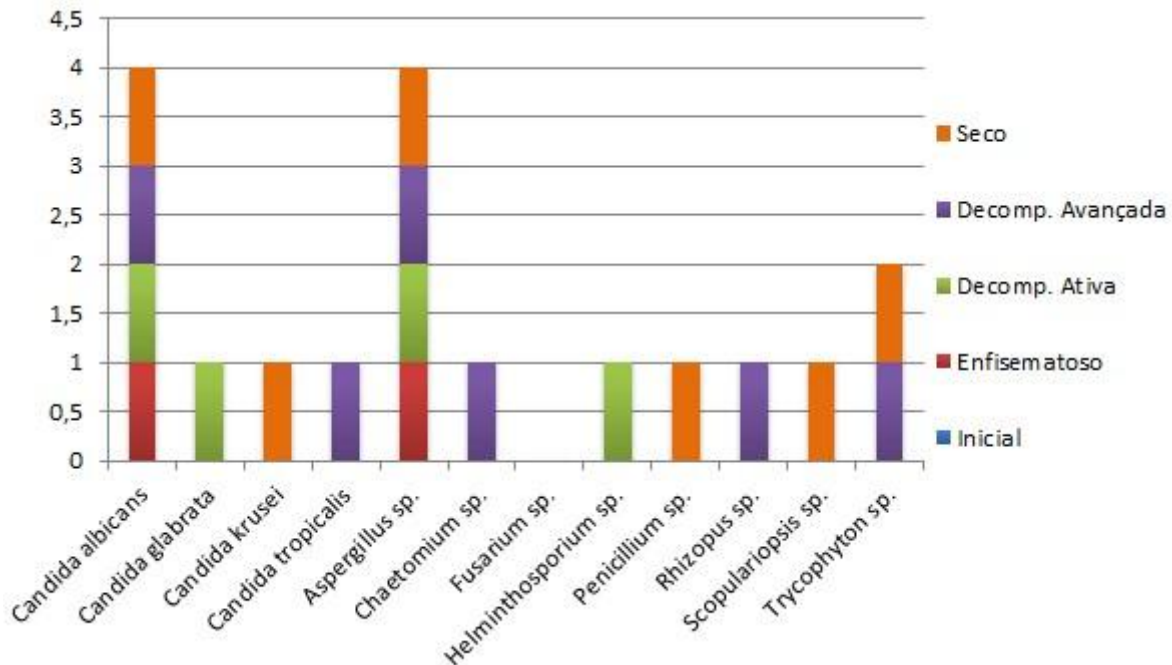
ecológica, no qual diferentes fungos atuam em momentos distintos, conforme as mudanças nas características do substrato.

Entre os fungos filamentosos identificados na carcaça mantida à sombra, *Aspergillus* sp. esteve presente em todas as fases da decomposição (100%), confirmando sua alta adaptabilidade, tolerância ao calor e capacidade de atuar mesmo em ambientes protegidos (Kosmidis e Denning, 2017; Latgé e Chamilos, 2019). *Trycophyton* sp. apareceu em duas fases (avançada e seca), com frequência de 50%, sugerindo que se desenvolve melhor em tecidos queratinizados, como apontado por estudos sobre dermatófitos (Chanyachailert et al., 2023).

Já os demais fungos – *Chaetomium* sp., *Helminthosporium* sp, *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp., e *Scopulariopsis* sp. – foram encontrados apenas em uma fase cada (25%), o que indica baixa continuidade e possível especialização em nichos específicos do corpo ou do ambiente. Esse padrão mais seletivo sugere que, na sombra, a decomposição ocorre de forma mais lenta e organizada, permitindo que cada fungo atue em momentos diferentes. Esse comportamento está ligado à sucessão fúngica, na qual os fungos se alternam conforme as mudanças químicas e físicas do cadáver (Formiga, 2024). Estudos com metabarcoding reforçam essa ideia, mostrando que as comunidades fúngicas mudam de forma previsível ao longo do tempo pós-morte, em resposta às condições do ambiente e da decomposição.

A ausência total de *Fusarium* sp. na carcaça à sombra, em contraste com sua presença na carcaça exposta ao sol, indica que essa espécie prefere ambientes mais secos, quentes e iluminados, e que sua ocorrência está ligada às condições ambientais específicas (Cighir et al., 2023). O padrão sucessório mais seletivo e diverso sob sombra, com alternância de fungos ao longo das fases, sugere que ambientes menos agressivos favorecem uma decomposição mais gradual. Essa dinâmica oferece subsídios robustos para a utilização da micologia forense em cenários onde a entomofauna pode estar ausente ou limitada, como em ambientes úmidos ou protegidos.

Gráfico 2- Representação da ocorrência de fungos leveduriformes e filamentosos isolados da carcaça suína exposta à sombra.



Fonte: Próprio Autor (2024)

Legenda: as quatro principais fases da decomposição cadavérica: 1 – enfisematosa, 2 – ativa, 3 – avançada e 4 – seca/esqueletização. As col colorações utilizadas no gráfico correspondem a cada fase: vermelho (fase enfisematosa), verde (fase ativa), lilás (fase avançada), laranja (fase seca/esqueletização) e azul claro (presença transversal ou persistente). Os dados ilustram a frequência e persistência dos táxons micológicos em diferentes estágios da decomposição, permitindo a análise da sucessão fúngica em ambiente sombreado e com baixa radiação solar.

A análise da Tabela II, referente à carcaça suína mantida à sombra, mostrou padrões distintos de colonização fúngica, influenciados pelas condições do microambiente e pelo avanço da decomposição. A temperatura foi relativamente estável (entre 26 °C e 30 °C), com umidade acima de 45%, o que favoreceu o crescimento de fungos menos resistentes à seca, como leveduras do gênero *Candida*, encontrada na região anal, durante a fase enfisematosa, juntamente com *Aspergillus sp.* Nas fases iniciais (inicial e enfisematosa), não foram encontrados grande diversidade de fungos filamentosos nas regiões analisadas (boca, peito, nádegas e abdômen).

Esse resultado está de acordo com Finley et al. (2015), que apontam que, nos primeiros dias após a morte, há predomínio de bactérias anaeróbias, que competem por nutrientes e

liberam substâncias que inibem o crescimento de fungos. Além disso, a baixa presença de oxigênio e a decomposição mais lenta em ambientes sombreados também ajudam a explicar essa escassez fúngica nas fases iniciais.

A partir da fase ativa da decomposição, observou-se um aumento na diversidade de fungos na carcaça suína à sombra. *Candida albicans* foi identificada nas nádegas e no abdômen, indicando sua adaptação a regiões com maior umidade e presença de queratina, como pele e tecido subcutâneo; sua capacidade de formar biofilmes e produzir clamidósporos reforça essa resistência (Sudbery, 2011; Rodrigues et al., 2014). *Helminthosporium* sp., foi identificado somente nas nádegas do animal.

Na fase avançada, *Aspergillus* sp. foi encontrado em todas as regiões, demonstrando sua plasticidade ecológica e tolerância a diferentes níveis de umidade e temperatura, como apontado por Kosmidis e Denning (2017). Nessa mesma fase, *Trycophyton* sp. apareceu no abdômen e nas nádegas, locais com tecidos queratinizados, o que sugere sua atuação especializada na decomposição de pele e pelos, conforme relatado em estudos clínicos com dermatófitos (Chanyachailert et al., 2023). *Chaetomium* sp., detectado no peito, está associado à degradação de colágeno e celulose, sendo comum em tecidos conjuntivos parcialmente liquefeitos (Araújo et al., 2003), reforçando a ação seletiva dos fungos de acordo com o tipo de substrato e estágio da decomposição.

Na fase seca, a diversidade de fungos diminui, mas ainda se observam espécies bem adaptadas ao ambiente com pouca umidade e menos nutrientes. *Candida albicans* continuou presente nas nádegas, boca e abdômen, o que mostra sua resistência, possivelmente por formar estruturas protetoras e se manter em áreas mais úmidas e abrigadas (Sudbery, 2011). *Trycophyton* sp. foi encontrado novamente nas nádegas, reforçando sua preferência por tecidos com queratina, como pele e pelos. Já *Aspergillus* sp. apareceu no abdômen e nas nádegas, confirmando seu papel como um dos fungos mais comuns nas últimas fases da decomposição (Latgé e Chamilos, 2019). *Penicillium* sp., isolado na região do peito, atua em substratos parcialmente degradados e ricos em proteínas e lipídios, sendo reconhecido por sua produção de compostos antimicrobianos e sua eficiência em matéria orgânica em decomposição (Santiago et al., 2022). A presença dos fungos em diferentes partes do corpo mostra que cada região tem um microclima próprio.

A boca, por exemplo, desidrata rapidamente e foi colonizada mais tarde; as nádegas, com mais músculo e gordura, retêm umidade por mais tempo, favorecendo leveduras; o abdômen e o peito, por receberem mais fluidos e apresentarem tecidos colapsados, abrigaram fungos que degradam matéria orgânica mais complexa. A variação na colonização fúngica por

região corporal, sob influência do microclima e do estágio de decomposição, demonstra que a análise segmentada da carcaça pode ser estratégica na perícia. O monitoramento regionalizado da sucessão fúngica aprimora a acurácia na estimativa do IPM em locais sombreados (Metcalf et al., 2016; Pechal et al., 2018).

Tabela 2-Distribuição espacial e temporal das espécies fúngicas isoladas da carcaça suína exposta a sombra, ao longo das diferentes fases da decomposição cadavérica.

LOCAIS DE COLETA - SOMBRA	INICIAL				ENFISEMATOSO				DECOMPOSIÇÃO ATIVA				DECOMPOSIÇÃO AVAN				SECO			
	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A	B	P	N	A
LEVEDURAS																				
<i>Candida albicans</i>								X		X		X	X	X	X	X	X	X		X
<i>Candida glabrata</i>									X											
<i>Candida krusei</i>																	X			
<i>Candida tropicalis</i>									X			X								
FILAMENTOSO																				
<i>Aspergillus sp.</i>								X		X	X	X	X	X	X	X		X		X
<i>Chaetomium sp.</i>														X						
<i>Fusarium sp.</i>																				
<i>Helminthosporium sp.</i>												X								
<i>Penicillium sp.</i>																	X			
<i>Rhizopus sp.</i>												X								
<i>Scopulariopsis sp.</i>																				
<i>Trycophyton sp.</i>														X		X				X

Fonte: Próprio autor (2024)

Legenda: As regiões corporais analisadas foram: mucosa oral (B), superfície cutânea (P), região das nádegas (N) e região abdominal (A). A presença dos fungos foi registrada por meio do símbolo “X”, indicando sua ocorrência em determinada fase e região anatômica. A organização dos dados permite observar padrões de colonização fúngica associados ao estágio de decomposição e ao microambiente corporal específico.

A análise do Gráfico III mostra que houve uma diferença clara de temperatura entre as carcaças expostas ao sol e à sombra, o que influenciou diretamente a composição dos fungos e o ritmo da decomposição. A carcaça ao sol teve aumento contínuo da temperatura, chegando a cerca de 36 °C na fase seca. Esse calor intenso causou forte evaporação e secagem dos tecidos, favorecendo a presença de fungos resistentes ao calor e à falta de umidade, como *Fusarium sp.* e *Rhizopus sp.*, conhecidos por sobreviverem bem em ambientes secos e quentes.

Pesquisas anteriores (Carter et al., 2008; Tranchida et al., 2021) mostram que a temperatura não só acelera a decomposição, como também seleciona os microrganismos mais adaptados a essas condições. Fungos como *Fusarium sp.*, *Rhizopus sp.* e *Aspergillus sp.* têm alta tolerância ao calor por produzirem esporos resistentes e proteínas especiais de defesa (proteínas de choque térmico), o que os torna dominantes em ambientes quentes.

A maior variação de temperatura na carcaça ao sol também contribuiu para uma

decomposição mais rápida e mudanças mais bruscas nos tipos de fungos encontrados. Isso confirma estudos como o de Metcalf et al. (2016), que mostram que locais mais quentes aceleram a troca de espécies microbianas ao longo do tempo. Por outro lado, a carcaça mantida à sombra apresentou uma faixa térmica mais estável, com temperaturas variando entre 26 °C e 30 °C, o que proporcionou um ambiente menos hostil, com maior retenção de umidade e menor taxa de evaporação. Esse cenário favoreceu o crescimento de fungos mais sensíveis à dessecação, especialmente leveduras como *Candida glabrata*, *C. krusei* e *C. tropicalis*, cuja ocorrência está intimamente ligada à presença de substrato orgânico úmido e temperaturas amenas.

Estudos como o de Carter e Tibbett (2014) mostram que a umidade ambiental é um fator decisivo para o crescimento e manutenção de comunidades fúngicas durante a decomposição. A estabilidade térmica observada na carcaça à sombra favoreceu um padrão sucessório mais organizado e com maior diversidade fúngica ao longo das fases, como também demonstrado por Formiga (2024), cujos dados de metabarcoding indicam que microclimas mais moderados sustentam comunidades microbianas mais complexas e equilibradas.

Em contraste, a carcaça ao sol representou um ambiente extremo, dominado por fungos oportunistas com alta resistência ao calor e à seca.

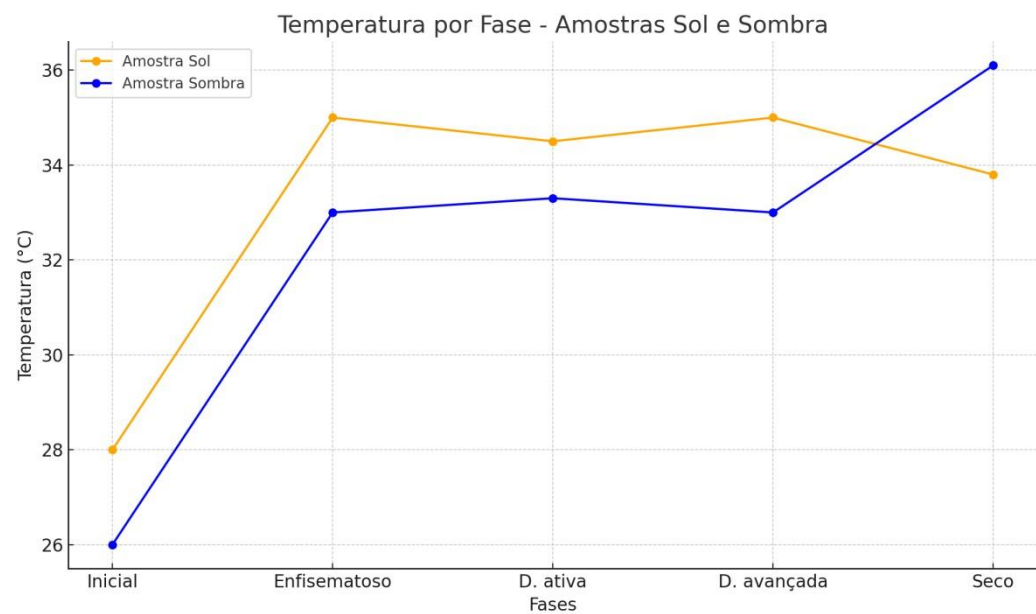
Essa diferenciação entre os ambientes tem aplicação direta na micologia forense. Como observado na revisão sistemática de Tranchida et al. (2021), a identificação de fungos associados a diferentes condições ambientais pode fornecer pistas importantes sobre o intervalo post-mortem (IPM) e ajudar na reconstrução da cena da morte, atuando como uma ferramenta complementar à entomologia forense.

A decomposição mais rápida sob o sol reduz o tempo de ação dos microrganismos que colonizam o cadáver nas fases iniciais, o que pode dificultar a análise da sucessão fúngica em investigações forenses. Em contrapartida, na sombra, o processo ocorre de forma mais lenta e gradual, permitindo maior diversidade e sobreposição entre fungos filamentosos e leveduras. Esses achados estão em consonância com estudos como os de Pechal et al. (2018) e Crippen et al. (2015), que demonstram que as transformações sucessivas na microbiota do cadáver ocorrem de maneira previsível ao longo do tempo, podendo ser utilizadas como parâmetro confiável para estimar o intervalo post mortem.

A influência térmica sobre a diversidade e o ritmo da decomposição é evidente, com seleção de microrganismos adaptados ao calor nas carcaças ao sol. A incorporação desse fator em análises forenses amplia a compreensão do comportamento fúngico e otimiza a precisão

dos laudos periciais, especialmente em regiões tropicais.

Gráfico 3- Variação da temperatura média (°C) durante as diferentes fases da decomposição cadavérica



Fonte: próprio autor (2024)

Legenda: fases da decomposição cadavérica (Inicial, Enfisematoso, Decomposição Ativa, Decomposição Avançada e Seco), comparando dois ambientes distintos: exposição ao sol (linha laranja) e à sombra (linha azul).

A análise do Gráfico IV mostra como a umidade do ar influencia diretamente a presença de fungos durante a decomposição. A carcaça na sombra começou o processo com umidade relativa de 50%, valor considerado ideal para a atividade microbiana (EMBRAPA, 2020), o que favoreceu o crescimento de fungos mais sensíveis à seca, como as leveduras *Candida krusei*, *C. glabrata* e *C. tropicalis*, além de filamentosos que exigem mais água. Esse ambiente úmido e estável ajudou a manter uma diversidade fúngica maior ao longo do tempo.

Já a carcaça ao sol teve forte queda na umidade a partir da fase ativa, chegando a menos de 20%, o que favoreceu apenas fungos resistentes à seca, como *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Scopulariopsis* sp. e *Helminthosporium* sp.. Esses resultados confirmam estudos anteriores (Metcalf et al., 2016; Pechal et al., 2014) que mostram como a umidade é um fator chave na sucessão de microrganismos durante a decomposição, afetando diretamente quais espécies conseguem se desenvolver em cada fase.

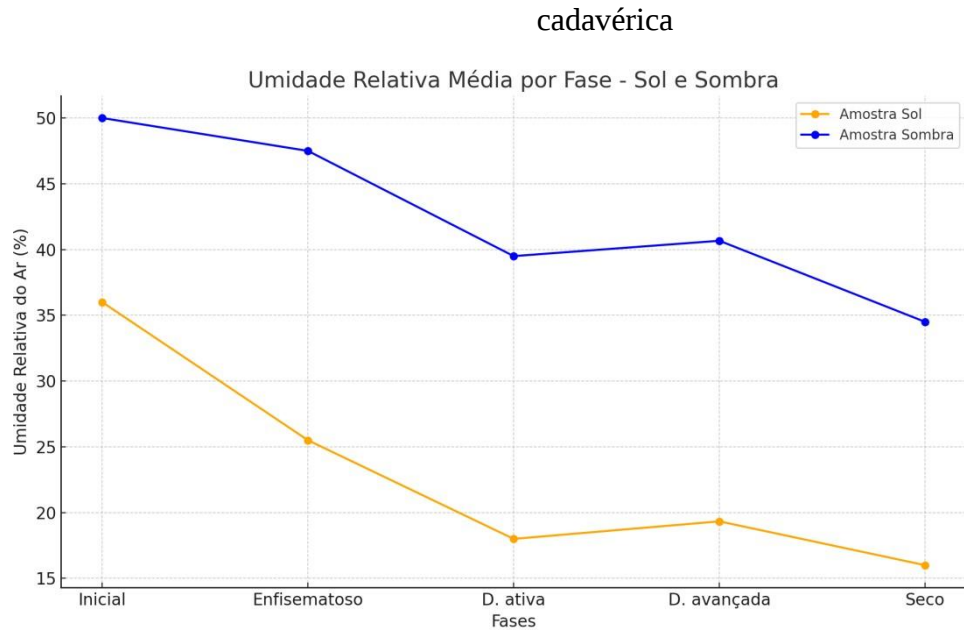
A umidade influencia não só os tipos de fungos presentes, mas também a velocidade da decomposição. Em locais úmidos e sombreados, o processo é mais lento, o que permite uma sucessão fúngica mais gradual e variada, com as carcaças permanecendo mais tempo nas fases

intermediárias (Lee Goff, 2009; Crippen et al., 2015). Já em ambientes secos e ensolarados, a decomposição avança mais rápido, com rápida transição entre as fases e perda de diversidade microbiana (Tranchida et al., 2021).

Essa relação tem impacto direto na micologia forense: a umidade relativa é um fator ambiental essencial para estimar o intervalo post mortem (IPM), e certos fungos como *Candida* sp. e *Scopulariopsis* sp. podem servir como bioindicadores, por serem sensíveis ou resistentes à variação hídrica (Andrade, 2024). No presente estudo, esses padrões reforçam o uso de fungos como marcadores sucessórios em perícias, especialmente em regiões tropicais com fortes variações de umidade. Além disso, como não houve chuvas durante o experimento, as mudanças de umidade se devem apenas às diferenças entre sol e sombra, o que aumenta a precisão e confiabilidade dos dados observados.

Estudos como o de Tomberlin et al. (2017) mostram que combinar dados de temperatura, umidade e composição microbiana melhora a precisão na estimativa do intervalo post mortem (IPM), superando métodos baseados apenas em insetos. Neste estudo, observou-se que a sucessão fúngica variou conforme o ambiente: *Aspergillus* sp. predominou em locais quentes e secos, enquanto *Penicillium* sp. e *Chaetomium* sp. preferiram áreas mais úmidas e frescas.

A umidade demonstrou ser um fator determinante na composição das comunidades fúngicas. A diferenciação entre ambientes secos e úmidos gerou padrões sucessórios distintos, o que evidencia seu valor como variável crítica em análises periciais e no desenvolvimento de modelos mais precisos para estimativa do IPM (Crippen et al., 2020; Fu et al., 2019).



Fonte: próprio autor (2024)

Legenda: fases da decomposição cadavérica (Inicial, Enfisematoso, Decomposição Ativa, Decomposição Avançada e Seco), comparando dois ambientes distintos: exposição ao sol (linha laranja) e à sombra (linha azul).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a Micologia Forense apresenta elevado potencial como ferramenta complementar na estimativa do intervalo post mortem (IPM), especialmente em ambientes onde a entomofauna está ausente ou limitada. A sucessão fúngica observada ao longo das fases da decomposição revelou padrões específicos relacionados às condições microambientais, como temperatura e umidade, e às regiões anatômicas do cadáver, evidenciando a atuação diferencial de leveduras e fungos filamentosos em função do substrato e do estágio da degradação.

Ambientes ensolarados e secos favoreceram a colonização por fungos termotolerantes e resistentes à dessecação, como *Aspergillus* e *Fusarium*, enquanto ambientes sombreados e úmidos apresentaram maior diversidade fúngica e predomínio de espécies mais sensíveis à seca, como *Candida albicans* e *Penicillium*. A distribuição regional dos fungos no corpo também demonstrou ser útil na análise forense, com áreas como abdômen e nádegas mostrando colonização precoce ou persistente, conforme suas características fisiológicas.

Os dados reforçam que a análise da sucessão fúngica, associada ao monitoramento ambiental, pode oferecer estimativas mais precisas do IPM em cenários tropicais,

especialmente quando integrada a parâmetros como temperatura e umidade. Assim, recomenda-se o investimento em pesquisas que incorporem técnicas moleculares e abordagens integradas, visando fortalecer a aplicação da micologia como suporte à perícia criminal.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, N. B.; COXE, R. A. G. Tanatologia forense: a importância desta ciência como meio de prova pericial no âmbito jurídico. **Revista Matiz Online**, Matão, v. 8, n. 8, 2019. Disponível em: <http://www.immes.edu.br/>. Acesso em: 15 set. 2023.
- AMORIM, S. M. A.; LEONEZA, S. I. Contribuições do enfermeiro junto à segurança pública: enfermagem na abordagem forense. **Revista Científica de Enfermagem – RECIEN**, v. 11, n. 35, 2021. Disponível em: <https://recien.com.br>. Acesso em: 15 set. 2023.
- ANDRADE, I. L. Micologia forense aplicada em investigações criminais: uma revisão. **Revista Foco**, v. 17, n. 7, 2024. Disponível em: <https://revistafoco.com.br>. Acesso em: 05 out. 2024.
- ARAÚJO, A. J. G. et al. Onicomicoses por fungos emergentes: análise clínica, diagnóstico laboratorial e revisão. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 78, p. 445-455, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 20 set. 2023.
- BARBEDO, L. S.; SGARBI, D. B. G. Candidíase. **DST – Jornal Brasileiro de Doenças Sexualmente Transmissíveis**, v. 22, n. 1, p. 22-38, 2010. Disponível em: <https://www.dst.uff.br>. Acesso em: 15 set. 2023.
- BARBOSA, M. A. et al. Aplicação de fungos em estudos forenses no processo de degradação cadavérica. **Saúde e Ambiente em Revista**, v. 7, n. 1, p. 10-18, 2012. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br>. Acesso em: 12 set. 2023.
- BASS, W. M. Outdoor decomposition rates in Tennessee. In: SCHWARTZ, D. G. (ed.). **Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 181-186.
- BECKTELL, M. C. et al. Identification of fungi found on desiccated human remains in an arid outdoor environment. **Journal of Forensic Sciences**, v. 67, n. 5, p. 2048-2054, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 30 out. 2023.
- BRADFORD, L. L.; RAVEL, J. The vaginal mycobiome: a contemporary perspective on fungi in women's health and diseases. **Virulence**, v. 8, n. 3, p. 342-351, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- CAMPOBASSO, C. P. et al. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. **Forensic Science International**, v. 120, p. 18-27, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- CAN, I. et al. Distinctive thanatomicrobiome signatures found in the blood and internal organs of humans. **Journal of Microbiological Methods**, v. 106, p. 1-7, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 25 dez. 2023.
- CARROLL, G. C.; WICKLOW, D. T. **The fungal community: its organization and role in the ecosystem**. New York: Marcel Dekker, 1992.

CARTER, D. O.; TIBBETT, M. Taphonomic mycota: fungi with forensic potential. **Journal of Forensic Sciences**, v. 48, n. 1, p. 168-171, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CARTER, D. O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. **Naturwissenschaften**, v. 94, n. 1, p. 12-24, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CHANYACHAILER, P. et al. Cutaneous fungal infections caused by dermatophytes and non-dermatophytes. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 6, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com>. Acesso em: 05 jan. 2024.

CHUN, L. P. et al. An initial investigation into the ecology of cultivable aerobic bacteria post-mortem. **Science and Justice**, v. 55, n. 6, p. 394-401, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 22 out. 2023.

CIGHIR, A. et al. Fusarium spp. in human disease. **Life**, v. 13, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com>. Acesso em: 20 jan. 2024.

COSTA, F. S. **Aplicações da micologia forense no âmbito criminal: uma revisão bibliográfica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

DAMANN, F. E. et al. Potential use of bacterial community succession in decaying human bone. **Journal of Forensic Sciences**, v. 60, n. 4, p. 844-850, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 13 jan. 2024.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FERREIRA, M. T. S. **Para lá da morte: estudo tafonômico de decomposição cadavérica e da degradação óssea**. 2017. Tese (Doutorado em Antropologia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/21839>. Acesso em: 23 out. 2024.

FU, X. et al. Fungal succession during mammalian cadaver decomposition. **Scientific Reports**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-49401-6>. Acesso em: 13 abr. 2024.

GARRIDO, R. G.; NAIA, M. J. T. Cronotanatognose: a influência do clima tropical na determinação do intervalo post mortem. **Lex Humana**, v. 6, n. 1, 2014. Disponível em: <https://seer.ucp.br>. Acesso em: 12 maio 2024.

GOOGLE MAPS. **Localização do Instituto Federal do Piauí – Campus Pedro II**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/IFPI+-+Campus+Pedro+II/>. Acesso em: 23 maio 2025.

HAWKSWORTH, D. L.; WILTSHIRE, P. E. J. Forensic mycology: the use of fungi in criminal investigations. **Forensic Science International**, v. 206, p. 1-11, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 06 set. 2023.

- HOOG, G. D. et al. **Atlas of clinical fungi**. 2. ed. Washington: ASM Press, 2000.
- ILLANA-ESTEBAN, C. et al. Micologia forense. **Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid**, v. 37, p. 229-244, 2013. Disponível em: <https://www.socmicolmadrid.org>. Acesso em: 10 set. 2023.
- JAVAN, G. T. et al. Human thanatomicrobiome succession and time since death. **Scientific Reports**, v. 6, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep29598>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- OLIVEIRA-COSTA, J. **Entomologia forense: quando os insetos são os vestígios**. 2. ed. Campinas: Millennium Editora, 2008.
- PITT, J. I.; HOCKING, A. D. **Fungi and food spoilage**. New York: Springer, 2009.
- STUMVOLL, V. P. **Criminalística**. Campinas: Millennium Editora, 2019.
- VELHO, J. et al. **Ciências forenses: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna**. 4. ed. Campinas: Millennium Editora, 2021.
- TRANCHIDA, M. C. et al. The use of fungi in forensic science: a brief overview. **Canadian Society of Forensic Science Journal**, v. 54, n. 1, p. 35-48, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- ZHANG, J. et al. Prediction of postmortem interval based on microbial succession. **Forensic Science International: Genetics**, v. 52, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 26 dez. 2023.