

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
NÍVEL MESTRADO**

**HENRIQUE SANTOS LABRES**

**ANÁLISE DA BIODETERIORAÇÃO DE SISTEMAS DE FACHADAS E A  
EFICÁCIA DE TINTAS NA INIBIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FÚNGICO**

**São Leopoldo**

**2019**





HENRIQUE SANTOS LABRES

**ANÁLISE DA BIODETERIORAÇÃO DE SISTEMAS DE FACHADAS E A  
EFICÁCIA DE TINTAS NA INIBIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FÚNGICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes

São Leopoldo

2019

L126a      Labres, Henrique Santos.  
              Análise da biodeterioração de sistemas de fachadas  
              e a eficácia de tintas na inibição do desenvolvimento  
              fúngico / Henrique Santos Labres. – 2019.  
              213 f. : il. ; 30 cm.

              Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do  
              Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em  
              Engenharia Civil, 2019.  
              “Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes.”

              1. Sistemas de fachadas. 2. Durabilidade. 3. Tintas.  
              4. Fungos. 5. Biodeterioração. I. Título.

CDU 624

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

HENRIQUE SANTOS LABRES

**ANÁLISE DA BIODETERIORAÇÃO DE SISTEMAS DE FACHADAS E A  
EFICÁCIA DE TINTAS NA INIBIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FÚNGICO:**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 29 de agosto de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Luciana Paulo Gomes – PPGEC UNISINOS

---

Prof. Dr. Luis Alcides Schiavo Miranda – PPGEC UNISINOS

---

Prof. Dr. Victor Hugo Valiati – PPGBio UNISINOS



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por sempre iluminar meu caminho.

Aos meus pais, pela dedicação, cuidado e amor ao longo de toda uma vida.

Ao meu amor, Babi, por estar do meu lado em todos os momentos, me fazendo acreditar que tudo isto seria possível.

Ao meu irmão, por crescer ao meu lado e dividir comigo todas as dificuldades e conquistas como esta.

A todos que considero família e que estão em meu coração, em especial a meu avô Leoni, a quem dedico este trabalho, por ter me ensinado com sua simplicidade, a amar antes de julgar.

A Professora Luciana, minha imensa gratidão pela orientação e experiência compartilhada ao longo deste projeto. Você acreditou nesta ideia e foi fundamental para que pudéssemos fazer acontecer.

Aos mestres do PPGEAC e colegas do Laboratório de Saneamento Ambiental pela convivência e apoio.

Ao Prof. Victor, por me receber de braços abertos sem medir esforços para que este trabalho fosse possível.

A Prof. Raquel, por compartilhar o seu conhecimento em fungos, fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Aos amigos que fiz no Laboratório de Microbiologia, em especial, as meninas que foram imprescindíveis para realização deste extenso experimental, Sabrina, Alessandra, Carol, Lívia e Marcela, aos laboratoristas Gabi, Irene, Jéssica e Renan, e ao aluno Felipe.

A equipe do itt Performance, pela colaboração de sempre em pesquisa e desenvolvimento. Nanda, minha eterna gratidão.

A equipe do itt Fuse, em especial ao Mauricio, por ceder o tempo e espaço necessários para desenvolvermos as análises de microscopia.

A equipe da Vivante, pelo apoio nos procedimentos de limpeza das edificações.

Aos órgãos de fomento CAPES – PROSUP por me conceder esta bolsa de estudos que proporcionou a realização de um sonho.

A todo aquele que contribuiu de alguma forma para que este objetivo fosse cumprido com êxito, minha gratidão eterna.



## FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

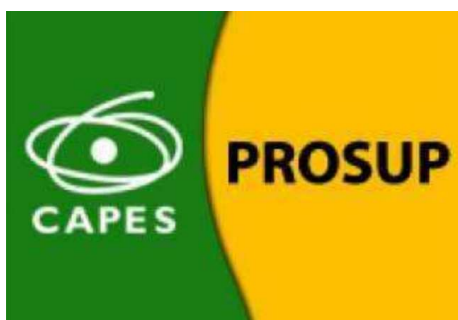
Ministério  
da Educação



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO



COORDENAÇÃO DE  
APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL  
DE NÍVEL SUPERIOR



PROGRAMA DE SUPORTE À PÓS-  
GRADUAÇÃO DE INSTITUIÇÕES DE  
ENSINO PARTICULARES





“Os sonhos têm um preço. Há sonhos caros e baratos, mas todos os sonhos têm um preço”. (Paulo Coelho)



## RESUMO

LABRES, H. S. **Análise da biodeterioração de sistemas de fachadas e a eficácia de tintas na inibição do desenvolvimento fúngico.** São Leopoldo, 2019. 213 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2019.

Dentre os mecanismos que afetam a durabilidade das edificações, destaca-se a biodeterioração pela ação de microrganismos, comprometendo os elementos construtivos e desvalorizando esteticamente os empreendimentos, além de serem prejudiciais à saúde humana. Percebe-se assim, a necessidade de encontrar soluções viáveis, sobretudo para o tratamento de fachadas, que possam estender a sua vida útil. Como alternativa, adicionam-se compostos biocidas as tintas, afim de preservar a película formada sobre a superfície dos revestimentos, visto que os fungos têm a capacidade de deteriorar as superfícies e formar biofilmes de pigmentação escura. O presente estudo teve como objetivo identificar a abundância e riqueza dos fungos e seus efeitos danosos sobre os revestimentos, comparando a eficácia de duas tintas aplicadas. Para tanto, foram efetuadas seis coletas nas fachadas norte e sul de duas edificações, avaliando as situações originais em que essas fachadas foram encontradas, o procedimento de limpeza e desinfecção aplicado, e por fim, as pinturas realizadas com duas tintas acrílicas “A” e “B”, sendo a última indicada, pelo fabricante, como inibidora de fungos e bactérias. Por meio destas verificações, foram identificados os seguintes fungos ao longo da pesquisa: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Curvularia* sp., *Cladosporium* sp., *Beauveria* sp., *Penicillium* sp., *Acremonium* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., *Cladophialophora* sp., *Nigrospora* sp., *Tripospermum* sp. e *Mycelia sterilia*. Em termos de abundância, a Tinta B obteve melhor desempenho que a Tinta A, no entanto, demonstrou-se sensível a colonização de sete gêneros de fungos, e a Tinta A, a apenas quatro. Na análise das superfícies dos revestimentos por microscopia, observou-se a formação de biofilmes, deposição de esporos, ancoragem de micélios e o desenvolvimento fúngico entre as camadas de tintas, ocasionando a perda de aderência das pinturas.

**Palavras-chave:** sistemas de fachadas; durabilidade; tintas; fungos; biodeterioração.



## ABSTRACT

LABRES, H. S. **Analysis of the biodeterioration on facade systems and the efficacy of paints in the inhibition of fungal development.** São Leopoldo, 2019. 213 pages. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos University, São Leopoldo, 2019.

Among the mechanisms that affect durability of buildings, there is the biodeterioration by the action of microorganisms, which compromises their elements and devalues aesthetically the constructions, besides being harmful to human health. Thus, it is necessary to find viable solutions especially for the treatment of facades which can extend their life cycle. The use of biocides in paints for coatings film preservation has been applied to meet these requirements, since the fungi colonize the substrates contributing to the surface deterioration and formation of dark pigmented biofilms. The present study aimed to evaluate the facades north and south of two buildings and identify the abundance and richness of fungi and their harmful effects on coatings. Therefore, six biofilm sampling were extracted to evaluate the original conditions of the façades, the efficacy of the cleaning and disinfection procedure, and the painting with two acrylic paints, A and B (indicated for the fight against fungi and bacteria). The following fungi were identified throughout these investigations: *Acremonium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Chaetomium* sp., *Cladophialophora* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Nigrospora* sp., *Penicillium* sp., *Tripaspermum* sp. and *Mycelia sterilia*. It was concluded that the paint B obtained best performance than paint A in terms of abundance, however it was showing sensibility to seven genera of fungi, and the paint A, only to four. On the coating surfaces analysis by microscopy were observed biofilm formation, spore deposition, mycelial anchorage and fungal growth between layers films that promoted the adhesion loss of the paintings.

**Keywords:** facade; durability; fungi; paints; biodeterioration.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação de tintas à base de solvente.....                                                                                                                          | 45 |
| Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de tintas base água .....                                                                                                                                  | 46 |
| Figura 3 – Mecanismo de formação da película em tintas à base de água.....                                                                                                                                 | 48 |
| Figura 4 – Etapas de formação de um biofilme .....                                                                                                                                                         | 69 |
| Figura 5 – Etapas do ciclo de reprodução assexuada de fungos filamentosos .....                                                                                                                            | 76 |
| Figura 6 – Fungos do gênero <i>Aspergillus</i> . a) colônia de <i>A. niger</i> . b) microscopia de <i>A.niger</i> . c) estereomicroscopia de <i>A. niger</i> .....                                         | 81 |
| Figura 7 – Fungos do gênero <i>Alternaria</i> . a) colônia de <i>A. alternata</i> . (b) microscopia de <i>A. alternata</i> . (c) colonização de <i>A. alternata</i> em amostra de forro.....               | 82 |
| Figura 8 – Fungos do gênero <i>Acremonium</i> . a) colônia de <i>Acremonium</i> sp. b) microscopia de <i>Acremonium</i> sp. ....                                                                           | 83 |
| Figura 9 – Fungos do gênero <i>Beauveria</i> . a) colônia de <i>B. bassiana</i> . b) microscopia de <i>B.bassiana</i> .....                                                                                | 84 |
| Figura 10 – Fungos do gênero <i>Chaetomium</i> . a) colônia de <i>Chaetomium</i> sp. b) Microscopia de <i>Chaetomium</i> sp. c) estereomicroscopia de <i>Chaetomium</i> sp. ....                           | 85 |
| Figura 11 – Fungos do gênero <i>Cladosporium</i> . a) colônia de <i>C. cladosporioides</i> . b) microscopia de <i>C.cladosporioides</i> . c) colônias de <i>C.cladosporioides</i> em amostra de forro..... | 86 |
| Figura 12 – Fungos do gênero <i>Cladophialophora</i> . a) colônia de <i>C. bantiana</i> . b) microscopia de <i>C. bantiana</i> . ....                                                                      | 87 |
| Figura 13 – Fungos do gênero <i>Curvularia</i> . a) colônia de <i>C. chlamidospora</i> . b) microscopia de <i>C. chlamidospora</i> . ....                                                                  | 88 |
| Figura 14 – Fungos do gênero <i>Fusarium</i> . a) colônia de <i>Fusarium</i> sp. b) microscopia de <i>Fusarium</i> sp. c) colônias de <i>Fusarium</i> sp. em amostra de forro.....                         | 89 |
| Figura 15 – Fungos do gênero <i>Nigrospora</i> . a) colônia de <i>Nigrospora</i> sp. b) microscopia de <i>Nigrospora</i> sp. ....                                                                          | 90 |
| Figura 16 – Fungos do gênero <i>Penicillium</i> . a) colônia de <i>Penicillium</i> sp. b) microscopia de <i>Penicillium</i> sp. c) estereomicroscopia de <i>Penicillium</i> sp.....                        | 91 |
| Figura 17 – Fungos do gênero <i>Tripospermum</i> . a) microscopia de <i>Tripospermum</i> sp. b) Ilustração de <i>Tripospermum</i> sp.....                                                                  | 92 |
| Figura 18 – Delineamento da pesquisa.....                                                                                                                                                                  | 93 |
| Figura 19 – Localização das edificações Campus UNISINOS - SL.....                                                                                                                                          | 94 |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 20 – Vista superior do prédio B13 e indicação das fachadas .....                                                          | 95  |
| Figura 21 – Vista superior do prédio D07 e indicação das fachadas .....                                                          | 95  |
| Figura 22 – Fachadas Prédio B13. (a) Norte; (b) Sul.....                                                                         | 96  |
| Figura 23 – Fachadas Prédio D07. (a) Norte; (b) Sul .....                                                                        | 96  |
| Figura 24 – Procedimento de limpeza realizado na fachada sul, do prédio B13, antes e depois. ....                                | 103 |
| Figura 25 – Representação das áreas de trabalho demarcadas para realização dos procedimentos de repintura. ....                  | 104 |
| Figura 26 –Procedimento de repintura realizado na fachada sul, do prédio B13....                                                 | 105 |
| Figura 27 – Testes preliminares de coleta e cultivo de amostras experimentais para definição do método aplicado .....            | 106 |
| Figura 28 – Lista modelo de identificação e controle de amostras para uso nas Coletas 01 a 06.....                               | 108 |
| Figura 29 – Ilustração das etapas do procedimento de coletas microbiológicas ....                                                | 109 |
| Figura 30 – Ilustração das etapas do procedimento de coleta de amostras de revestimento externo para análise da superfície ..... | 113 |
| Figura 31 – Exemplo de localização dos pontos amostrados das películas das tintas .....                                          | 117 |
| Figura 32 – Crescimento de culturas mistas na amostra 87 e isolamento de fungo                                                   | 118 |
| Figura 33 – Análise microscópica de lâmina preparada com fragmento da amostra 87e.....                                           | 119 |
| Figura 34 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 01 .....                                                           | 121 |
| Figura 35 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 02 .....                                                           | 122 |
| Figura 36 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 03 .....                                                           | 123 |
| Figura 37 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 04 .....                                                           | 124 |
| Figura 38 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 05 .....                                                           | 125 |
| Figura 39 – Dados de riqueza e abundância de fungos nas Coletas 01 a 05.....                                                     | 126 |
| Figura 40 – Abundância de fungos nos prédios D07 e B13.....                                                                      | 133 |
| Figura 41 – Abundância de fungos nas fachadas de orientação Norte e Sul .....                                                    | 135 |
| Figura 42 – Abundância de fungos nas situações Sem Tratamento (ST), com Tinta A (TA) e com Tinta B (TB).....                     | 138 |
| Figura 43 – Riqueza de fungos nos prédios D07 e B13 .....                                                                        | 142 |
| Figura 44 – Riqueza de fungos nas fachadas de orientação Norte e Sul .....                                                       | 144 |



|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 45 – Riqueza de fungos nas situações Sem Tratamento (ST), com Tinta A (TA) e com Tinta B (TB). .....                                              | 147 |
| Figura 46 – Amostras 37 A 72 referentes a Coleta 04, após 5 dias de incubação, nas três situações avaliadas (ST, TA e TB) .....                          | 151 |
| Figura 47 – Amostras 73 A 108 referentes a Coleta 05, após 5 dias de incubação, nas três situações avaliadas (ST, TA e TB) .....                         | 153 |
| Figura 48 – Fungo da espécie <i>Aspergillus niger</i> .....                                                                                              | 155 |
| Figura 49 – Segundo fungo do gênero <i>Aspergillus</i> .....                                                                                             | 156 |
| Figura 50 – Terceiro fungo do gênero <i>Aspergillus</i> .....                                                                                            | 157 |
| Figura 51 – Quarto fungo do gênero <i>Aspergillus</i> .....                                                                                              | 158 |
| Figura 52 – Primeiro fungo do gênero <i>Alternaria</i> .....                                                                                             | 159 |
| Figura 53 – Segundo fungo do gênero <i>Alternaria</i> .....                                                                                              | 160 |
| Figura 54 – Terceiro fungo do gênero <i>Alternaria</i> .....                                                                                             | 161 |
| Figura 55 – Fungo do gênero <i>Acremonium</i> .....                                                                                                      | 162 |
| Figura 56 – Fungo do gênero <i>Beauveria</i> .....                                                                                                       | 163 |
| Figura 57 – Fungo do gênero <i>Chaetomium</i> .....                                                                                                      | 164 |
| Figura 58 – Primeiro fungo do gênero <i>Cladosporium</i> .....                                                                                           | 165 |
| Figura 59 – Segundo fungo do gênero <i>Cladosporium</i> .....                                                                                            | 166 |
| Figura 60 – Fungo do gênero <i>Cladophialophora</i> .....                                                                                                | 167 |
| Figura 61 – Fungo do gênero <i>Curvularia</i> .....                                                                                                      | 168 |
| Figura 62 – Fungo 2 do gênero <i>Curvularia</i> .....                                                                                                    | 169 |
| Figura 63 – Fungo 3 do gênero <i>Curvularia</i> .....                                                                                                    | 170 |
| Figura 64 – Fungo do gênero <i>Fusarium</i> .....                                                                                                        | 171 |
| Figura 65 – Segundo fungo do gênero <i>Fusarium</i> .....                                                                                                | 172 |
| Figura 66 – Fungo do gênero <i>Mycelia sterilia</i> .....                                                                                                | 173 |
| Figura 67 – Fungo do gênero <i>Nigrospora</i> .....                                                                                                      | 174 |
| Figura 68 – Primeiro fungo do gênero <i>Penicillium</i> .....                                                                                            | 175 |
| Figura 69 – Fungo 2 do gênero <i>Penicillium</i> .....                                                                                                   | 176 |
| Figura 70 – Fungo 2 do gênero <i>Tripospermum</i> .....                                                                                                  | 177 |
| Figura 71 – Investigação das amostras das superfícies dos revestimentos dos prédios D07 e B13, entre as Coletas 01 (C1) e 02 (C2), em um aumento de 400x | 179 |
| Figura 72 – Investigação das amostras das superfícies dos revestimentos dos prédios D07 e B13, na Coleta 06 (C6), em um aumento de 400x.....             | 181 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 73 – Esporos fúngicos depositados sobre a película das tintas dos prédios B13 e D07, em aumento de 1000x. .... | 183 |
| Figura 74 – Verificação da altura dos biofilmes formados sobre a superfície das fachadas. ....                        | 185 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Classificação de tintas e revestimentos do setor imobiliário de acordo com suas características e finalidades.....             | 38  |
| Tabela 2 – Biocidas utilizados na conservação das tintas em lata.....                                                                     | 50  |
| Tabela 3 – Biocidas utilizados na preservação de filmes secos de tintas .....                                                             | 53  |
| Tabela 4 – Mecanismos de ação de biocidas em microrganismos. ....                                                                         | 55  |
| Tabela 5 – Problemas resultantes da contaminação de tintas à base de água em lata. ....                                                   | 60  |
| Tabela 6 – Problemas detectados em películas de tintas à base de água formadas sobre os substratos. ....                                  | 61  |
| Tabela 7 – Efeitos da ação dos microrganismos na biodeterioração de revestimentos de fachada de edificações e patrimônios culturais. .... | 62  |
| Tabela 8 – Métodos variados de amostragem de microrganismos em biofilmes .....                                                            | 73  |
| Tabela 9 – Fungos identificados em biofilmes formados sobre superfícies de materiais de construção .....                                  | 78  |
| Tabela 10 – Informações gerais apresentadas nas embalagens das tintas aplicadas .....                                                     | 98  |
| Tabela 11 – Ingredientes perigosos presentes na composição das tintas aplicadas apresentados pela FISPQ .....                             | 99  |
| Tabela 12 – Equipamentos utilizados.....                                                                                                  | 100 |
| Tabela 13 – Resumo de dados obtidos nas Coletas 01 a 05 .....                                                                             | 120 |
| Tabela 14 – Gêneros de fungos identificados nos prédios B13 e D07 nas Coletas 01 a 05 .....                                               | 128 |
| Tabela 15 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos das amostras em triplicata das Coletas 01 a 05 .....                      | 132 |
| Tabela 16 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos em prédios D07 e B13.....                                                 | 134 |
| Tabela 17 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado aos prédios D07 e B13, admitindo a abundância como variável dependente.....                | 134 |
| Tabela 18 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos em fachadas norte e sul.....                                              | 136 |
| Tabela 19 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em fachadas, admitindo a abundância como variável dependente.....                          | 136 |

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 20 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em limpeza, admitindo a abundância como variável dependente .....                                                          | 137 |
| Tabela 21 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre as condições originais e após a limpeza das fachadas, considerando a abundância como variável dependente..... | 137 |
| Tabela 22 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre os tipos de tratamentos, admitindo a abundância como variável dependente .....                                | 139 |
| Tabela 23 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado as pinturas com Tintas A e B, após 30 dias (Coleta 04), admitindo a abundância como variável dependente.....               | 140 |
| Tabela 24 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado as pinturas com Tintas A e B, após 101 dias (Coleta 05), admitindo a abundância como variável dependente.....              | 140 |
| Tabela 25 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos nas amostras coletadas .....                                                                                 | 141 |
| Tabela 26 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos em prédios B13 e D07 .....                                                                                   | 143 |
| Tabela 27 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em prédios, admitindo a riqueza como variável dependente.....                                                              | 144 |
| Tabela 28 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos em fachadas norte e sul .....                                                                                | 145 |
| Tabela 29 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em fachadas, admitindo a riqueza como variável dependente.....                                                             | 145 |
| Tabela 30 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em limpeza, admitindo a riqueza como variável dependente.....                                                              | 146 |
| Tabela 31 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre as condições originais e após a limpeza das fachadas, considerando a abundância como variável dependente..... | 146 |
| Tabela 32 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado às pinturas com Tintas A e B, após 30 dias (Coleta 04), admitindo a riqueza como variável dependente .....                 | 148 |
| Tabela 33 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado às pinturas com Tintas A e B, após 101 dias (Coleta 05), admitindo a riqueza como variável dependente .....                | 149 |
| Tabela 34 – Verificação da altura média dos biofilmes formados sobre a superfície dos revestimentos.....                                                                  | 186 |
| Tabela 35 – Verificação da rugosidade média dos revestimentos das fachadas norte e sul, dos prédios D07 e B13.....                                                        | 188 |

## LISTA DE SIGLAS

|       |                                                                 |
|-------|-----------------------------------------------------------------|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas                        |
| AE    | Amostra Experimental                                            |
| B13   | Edificação localizada no Campus Unisinos-SL, Prédio 13, Setor B |
| COV   | Composto Orgânico Volátil                                       |
| D07   | Edificação localizada no Campus Unisinos-SL, Prédio 07, Setor D |
| DNA   | Ácido Desoxirribonucleico                                       |
| EPS   | Substâncias Poliméricas Extracelulares                          |
| FISPQ | Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos          |
| ISO   | <i>International Organization for Standardization</i>           |
| NBR   | Normas Brasileiras de Regulação                                 |
| PVA   | Acetato de Polivinila                                           |
| SDA   | Ágar Saboraud Dextrose                                          |
| SLM   | Meio Líquido Saboraud                                           |
| sp.   | Espécie                                                         |
| Spp.  | Espécies                                                        |
| ST    | Sem Tinta                                                       |
| TA    | Tinta A                                                         |
| TB    | Tinta B                                                         |
| UV    | Ultravioleta                                                    |



## **GLOSSÁRIO**

**ACRÓPETA** – que se produz de baixo para cima, na direção do ápice.

**ASCO** – célula em forma de chave ou bolsa, contendo ascósporos geralmente com número determinado de 2, 4, 8 ou 16. Caracteriza os ascomicetos.

**BLÁSTICO** – refere-se ao conídio que, em seu estágio inicial, se alarga pelo crescimento, diferenciando-se da “célula parente” pela presença de um septo. O conídio é resultante de parte da “célula parente”.

**CENOCÍTICO** – desprovido de septos; o mesmo que contínuo.

**CONÍDIOS** – propágulo imóvel, geralmente decídua, que não se forma por clivagem citoplasmática ou por conjugação.

**CONIDIÓFORO** – hifa simples ou ramificada (hifa fértil) na qual as células conidiogênicas dão origem aos conídios.

**ENDÓFITO** – fungo cujos órgãos vegetativos, e algumas vezes os reprodutores, se desenvolvem no interior dos tecidos da planta parasitada.

**ESPORO** – propágulo derivado de modo assexuado ou sexuado. Quando derivado do modo assexuado, o processo de clivagem é o que geralmente ocorre.

**ESPORODÓQUIO** – estroma ou massa de hifas entrelaçadas em forma de almofada, coberto por conidióforos com conídios apicais.

**ESTIPE** – talo central que se encontra no esporóforo de basidiomicetos, haste que suporte o píleo, pedículo dos cogumelos.

**FALCIFORME** – em forma de foice.

**FIÁLIDE** – pequenas células em forma de frasco ou garrafa, que dão origem a esporos (fialósporos).

**FUSIFORME** – em forma de fuso; com extremidades afiladas, como macroconídios de certos dermatófitos.

**GENICULADO** – com curvaturas que lembram joelhos.

**HIALINO** – que tem a aparência de vidro; incolor.

**HIFA** – porção ou talo ou corpo vegetativo, constituído por filamento septado ou não.

**LISE**- dissolução da parede celular.

**MACROCONÍDIO** – o maior entre dois diferentes tamanhos de conídios

produzidos por um fungo.

MACRONEMATOSO – hifa cujo conidióforo é morfologicamente diferente da hifa vegetativa.

MÉTULA – ramo do conidióforo que termina em fiálide como em *Penicillium*

MICÉLIO – parte vegetativa dos fungos; trama de hifas.

MICROCONÍDIOS – o menor entre dois conídios de tamanho diferentes produzidos por um único fungo.

MICRONEMATOSO – condição em que o conidióforo é morfologicamente semelhante à hifa vegetativa

MONOVERTICILADO – refere-se ao gênero *Penicillium*, no que as fiálides nascem em uma pequena dilatação do conidióforo.

MURIFORME – que tem divisões transversais e longitudinais. Dictiosporos ou esporos muriformes.

PERITÉCIO – ascocarpo ostiolado no interior do qual, sobre o himênio, são encontrados ascos com ascósporos e paráfises.

PARASITO – microrganismo ou macrorganismo vivendo nas células vivas dos tecidos, dos quais assegura sua nutrição em prejuízo do hospedeiro.

PIRIFORME – em forma de pera.

PROPÁGULO – unidade individual que pode originar outro organismo

QUITINA – molécula linear contendo resíduos N-acetil-glicosamina com ligações do tipo B-1,4.

SAPRÓBIO – termo empregado para fungos que utilizam a matéria orgânica morta como fonte de nutrição.

SEPTADO – dividido em compartimentos, tabicados, provido de septos.

SINÊMIO – grupo compacto ereto e alongado de conidióforos unidos por substância cimentante, sendo os conídios produzidos no ápice ou ao longo do sinêmio ou em ambos simultaneamente.

VESÍCULA – dilatação apical do conidióforo, como em *Aspergillus*, ou da célula esporogênica, como em *Arthrotrys*; ápice dilatado do esporangióforo nas espécies de *Syncephalastrum*

Nota: As informações deste glossário são retiradas da bibliografia de Lacaz et al. (1998)



## SUMÁRIO

|              |                                                                                                          |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                   | <b>29</b> |
| 1.1          | OBJETIVO GERAL .....                                                                                     | 31        |
| 1.2          | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                              | 31        |
| <b>2</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                         | <b>33</b> |
| 2.1          | DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES .....                                                                       | 33        |
| 2.2          | SISTEMAS DE FACHADAS .....                                                                               | 34        |
| <b>2.2.1</b> | <b>Revestimentos .....</b>                                                                               | <b>35</b> |
| <b>2.2.2</b> | <b>Acabamentos .....</b>                                                                                 | <b>36</b> |
| 2.3          | TINTAS IMOBILIÁRIAS .....                                                                                | 37        |
| <b>2.3.1</b> | <b>Noções Gerais.....</b>                                                                                | <b>37</b> |
| <b>2.3.2</b> | <b>Composição Básica.....</b>                                                                            | <b>40</b> |
| 2.3.2.1      | Resinas.....                                                                                             | 40        |
| 2.3.2.2      | Pigmentos .....                                                                                          | 41        |
| 2.3.2.3      | Solventes .....                                                                                          | 42        |
| 2.3.2.4      | Aditivos .....                                                                                           | 43        |
| <b>2.3.3</b> | <b>Processos de Fabricação.....</b>                                                                      | <b>44</b> |
| 2.3.3.1      | Produção de tintas à base de solvente .....                                                              | 44        |
| 2.3.3.2      | Produção de tintas à base de água .....                                                                  | 45        |
| <b>2.3.4</b> | <b>Mecanismos de Formação da Película de Tintas.....</b>                                                 | <b>46</b> |
| <b>2.3.5</b> | <b>Biocidas .....</b>                                                                                    | <b>48</b> |
| <b>2.3.6</b> | <b>Recomendações Técnicas para Recuperação de Pinturas.....</b>                                          | <b>58</b> |
| 2.4          | PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS.....                                   | 59        |
| <b>2.4.1</b> | <b>Influência das Condições Ambientais na Deterioração de Pinturas ..</b>                                | <b>64</b> |
| <b>2.4.2</b> | <b>Biodeterioração por Fungos .....</b>                                                                  | <b>65</b> |
| 2.4.2.1      | Relação entre a orientação solar e a biodeterioração de fachadas .....                                   | 67        |
| <b>2.4.3</b> | <b>Formação de Biofilme.....</b>                                                                         | <b>68</b> |
| 2.4.3.1      | Morfologia das superfícies .....                                                                         | 71        |
| 2.5          | MICROBIOLOGIA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL.....                                                           | 71        |
| <b>2.5.1</b> | <b>Fungos .....</b>                                                                                      | <b>74</b> |
| 2.5.1.1      | Principais gêneros de fungos responsáveis pela deterioração de sistemas de fachadas de edificações ..... | 77        |
| 2.5.1.1.1    | <i>Aspergillus sp.</i> .....                                                                             | 81        |

|              |                                                           |            |
|--------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 2.5.1.1.2    | <i>Alternaria sp.</i> .....                               | 82         |
| 2.5.1.1.3    | <i>Acremonium sp.</i> .....                               | 83         |
| 2.5.1.1.4    | <i>Beauveria sp.</i> .....                                | 84         |
| 2.5.1.1.5    | <i>Chaetomium sp.</i> .....                               | 85         |
| 2.5.1.1.6    | <i>Cladosporium sp.</i> .....                             | 86         |
| 2.5.1.1.7    | <i>Cladophialophora sp.</i> .....                         | 87         |
| 2.5.1.1.8    | <i>Curvularia sp.</i> .....                               | 87         |
| 2.5.1.1.9    | <i>Fusarium sp.</i> .....                                 | 88         |
| 2.5.1.1.10   | <i>Mycelia sterilia</i> .....                             | 89         |
| 2.5.1.1.11   | <i>Nigrospora sp.</i> .....                               | 89         |
| 2.5.1.1.12   | <i>Penicillium sp.</i> .....                              | 90         |
| 2.5.1.1.13   | <i>Tripospermum sp.</i> .....                             | 91         |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA</b> .....                                  | <b>93</b>  |
| 3.1          | APRESENTAÇÃO DO LOCAL .....                               | 94         |
| <b>3.1.1</b> | <b>Escolha das Edificações</b> .....                      | <b>94</b>  |
| 3.1.1.1      | Seleção das fachadas .....                                | 96         |
| 3.2          | MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....                            | 97         |
| <b>3.2.1</b> | <b>Desinfetante</b> .....                                 | <b>97</b>  |
| <b>3.2.2</b> | <b>Tintas</b> .....                                       | <b>97</b>  |
| <b>3.2.3</b> | <b>Equipamentos Gerais</b> .....                          | <b>100</b> |
| 3.3          | BIODETERIORAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES .....                     | 101        |
| <b>3.3.1</b> | <b>Preparação das Fachadas</b> .....                      | <b>102</b> |
| 3.3.1.1      | Procedimentos de limpeza .....                            | 102        |
| 3.3.1.2      | Procedimentos de repintura .....                          | 103        |
| <b>3.3.2</b> | <b>Análises Microbiológicas</b> .....                     | <b>105</b> |
| 3.3.2.1      | Definições gerais das coletas microbiológicas .....       | 106        |
| 3.3.2.2      | Catálogo de amostras .....                                | 110        |
| 3.3.2.3      | Identificação dos fungos .....                            | 111        |
| <b>3.3.3</b> | <b>Análises das Superfícies dos Revestimentos</b> .....   | <b>112</b> |
| 3.3.3.1      | Definições gerais das coletas dos revestimentos .....     | 112        |
| 3.3.3.2      | Deterioração das pinturas .....                           | 114        |
| 3.3.3.3      | Investigação dos biofilmes .....                          | 114        |
| 3.3.3.4      | Verificação da rugosidade .....                           | 114        |
| 3.4          | TRATAMENTO ESTATÍSTICO DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS ..... | 114        |

|            |                                                                      |            |
|------------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b>   | <b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>         | <b>117</b> |
| 4.1        | ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS .....                                       | 117        |
| 4.1.1      | <b>Catálogo e Rastreamento das Amostras .....</b>                    | <b>117</b> |
| 4.1.2      | <b>Síntese dos Fungos Identificados nas Coletas 01 a 05.....</b>     | <b>120</b> |
| 4.1.3      | <b>Avaliação dos Fungos nos Sistemas de Fachadas das Edificações</b> | <b>131</b> |
| 4.1.3.1    | Análises da abundância de fungos nas edificações.....                | 131        |
| 4.1.3.2    | Análises da riqueza de fungos nas edificações .....                  | 141        |
| 4.1.3.3    | Resumo das análises estatísticas.....                                | 149        |
| 4.1.3.4    | Análise dos componentes biocidas das Tintas A e B.....               | 150        |
| 4.1.3.5    | Análise visual das placas originais (Amostras 37 a 108) .....        | 150        |
| 4.1.3.6    | Colônias de fungos isolados .....                                    | 154        |
| 4.1.3.6.1  | <i>Aspergillus sp.</i> .....                                         | 155        |
| 4.1.3.6.2  | <i>Alternaria sp.</i> .....                                          | 159        |
| 4.1.3.6.3  | <i>Acremonium sp.</i> .....                                          | 162        |
| 4.1.3.6.4  | <i>Beauveria sp.</i> .....                                           | 163        |
| 4.1.3.6.5  | <i>Chaetomium sp.</i> .....                                          | 164        |
| 4.1.3.6.6  | <i>Cladosporium sp.</i> .....                                        | 165        |
| 4.1.3.6.7  | <i>Cladophialophora sp.</i> .....                                    | 167        |
| 4.1.3.6.8  | <i>Curvularia sp.</i> .....                                          | 168        |
| 4.1.3.6.9  | <i>Fusarium sp.</i> .....                                            | 171        |
| 4.1.3.6.10 | <i>Mycelia sterilia</i> .....                                        | 173        |
| 4.1.3.6.11 | <i>Nigrospora sp.</i> .....                                          | 174        |
| 4.1.3.6.12 | <i>Penicillium sp.</i> .....                                         | 175        |
| 4.1.3.6.13 | <i>Tripaspermum sp.</i> .....                                        | 177        |
| 4.2        | ANÁLISES DA SUPERFÍCIE DOS REVESTIMENTOS.....                        | 178        |
| 4.2.1      | <b>Deterioração das Pinturas dos Prédios D07 e B13 .....</b>         | <b>178</b> |
| 4.2.1.1    | Esporos de fungos sobre as películas das tintas .....                | 183        |
| 4.2.2      | <b>Investigação dos biofilmes .....</b>                              | <b>184</b> |
| 4.2.3      | <b>Rugosidade dos Revestimentos de Fachadas .....</b>                | <b>187</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                               | <b>191</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                              | <b>195</b> |
|            | <b>APENDICE A – COLÔNIAS PURAS.....</b>                              | <b>205</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

A ação dos fungos em sistemas de fachadas causa a desfiguração dos revestimentos pela formação de biofilmes e efeitos danosos à resistência mecânica das camadas de pinturas. Em decorrência disto, são requeridas manutenções corretivas que elevam os custos aos usuários, assim como o consumo de materiais de construção em geral. (VIDELA, 2003; BARBEROUSSE, 2006; ARTEAGA *et al.*, 2008; GIUSEPPE, 2013).

Usualmente, aplicam-se sobre estes revestimentos de argamassa, tintas látex acrílicas, formando uma fina película que garante a proteção e acabamento estético desejado ao substrato. (FAZENDA, 2008; BREITBACH, 2009; WINKELAAR, 2009).

No entanto, a deposição de organismos autotróficos sobre a superfície e os próprios ingredientes da composição destas tintas servem como forma de nutrientes, possibilitando o desenvolvimento fúngico. (FAZENDA, 1995; ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004). Assim, ocorre a proliferação de colônias e formação de biofilmes, que dependem fundamentalmente das condições do substrato (porosidade e rugosidade), características locais (orientação solar e vegetação), clima regional (umidade, temperatura, precipitação) e fonte de nutrientes. Quando somados estes atributos, os efeitos da biodeterioração ocorrem de forma mais intensa. (VIDELA, 2003; SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; BARBEROUSSE, 2006; ARTEAGA *et al.*, 2008; GIUSEPPE, 2013; SINGH; CHAUHAN, 2013; FERRARI *et al.*, 2015).

Uma das alternativas empregadas para estender a vida útil destes elementos construtivos contempla o uso de biocidas adicionados às formulações das tintas, basicamente com a função de preservar o substrato após a formação da película. (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Giuseppe (2013) indica que, de modo geral, o uso de biocidas realmente eleva a durabilidade das pinturas, estimando uma vida útil para as superfícies tratadas de aproximadamente 5 a 10 anos. Porém, é importante observar que com o passar do tempo a efetividade destes produtos é reduzida em função da perda de suas propriedades.

Em decorrência disso, alguns dos resultados da colonização de fungos em fachadas são a formação de biofilmes de pigmentação escura e penetração de seus

micélios que podem alterar as propriedades dos materiais. (GÓMEZ-ALARCÓN *et al.*, 1995; VIDELA, 2003).

Cabe ainda ressaltar que a presença de fungos, mesmo em ambientes externos, eleva a quantidade de esporos suspensos no ar, transferindo-os ao interior das edificações e colaborando para a manifestação de alergias respiratórias aos ocupantes. (MENEZES *et al.*, 2004; ABDEL-RAHIM *et al.*, 2018).

Os estudos de Gaylarde e Morton (1999), Mezzari *et al.* (2002), Shirakawa *et al.* (2002), Schulte, Wingender e Flemming (2004), Menezes *et al.* (2004), Allsopp, Seal e Gaylarde (2004), Silva (2009), Shirakawa *et al.* (2010), Aina *et al.* (2011), Ferrari *et al.* (2015) e Abdel-Rahim *et al.* (2018) identificaram os fungos *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Aureobasidium* sp., *Acremonium* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Epicoccum* sp., *Exophiala* sp., *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Monascus* sp., *Monilia* sp., *Mucor* sp., *Mycelia sterilia*, *Nigrospora* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Pestalotia* sp., *Phoma* sp., *Rhizopus* sp., *Stemphylium* sp., *Trichoderma* sp., *Tripospermum* sp., *Ulocladium* sp. e *Verticillium* sp., como alguns dos principais responsáveis pela deterioração dos filmes de tintas de fachadas de edificações. Comparativamente, análises realizadas em duas edificações localizadas na Universidade do Vale de Rio dos Sinos buscaram identificar a abundância e riqueza dos fungos e seus efeitos deteriorantes sobre as fachadas nas condições originais, e após procedimentos de limpeza e repintura com duas tintas comerciais, sendo uma delas, indicada para inibição de algas e fungos em revestimentos externos.

Para tanto, a estrutura deste trabalho contempla cinco capítulos, distribuídos da seguinte forma:

O Capítulo 1: Introdução apresenta o tema e a sua relevância na deterioração de sistemas de fachadas pela ação dos fungos, bem como os objetivos que o trabalho se propõe a analisar.

O Capítulo 2: Revisão Bibliográfica exhibe conceitos gerais de durabilidade e sistemas de fachadas, assim como, definições a respeito das tintas, biocidas, manifestações patológicas em pinturas, biodeterioração e formações de biofilmes, buscando embasamento que justifique os fungos identificados e os efeitos detectados nas superfícies das fachadas ao longo desta pesquisa. São partes da revisão teórica deste trabalho: 1) durabilidade das construções, 2) sistemas de fachadas (revestimentos e acabamentos), 3) tintas imobiliárias (noções gerais,

composição básica, processos de fabricação, mecanismos de formação da película de tintas, biocidas e recomendações técnicas para recuperação de pinturas), 4) principais manifestações patológicas em revestimentos de fachadas (influência das condições ambientais na deterioração de pinturas, biodeterioração por fungos e formação de biofilme), 5) microbiologia aplicada à construção civil (fungos e principais gêneros de fungos responsáveis pela deterioração de sistemas de fachadas de edificações).

O Capítulo 3: Metodologia descreve detalhadamente as edificações avaliadas, os métodos de coleta, inoculação e cultivo e identificação dos fungos, as análises da superfície dos revestimentos, e ainda, a estatística aplicada aos dados.

O Capítulo 4: Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados destaca os resultados obtidos, discute os mesmos, e faz comparações com outros trabalhos.

O Capítulo 5: Conclusão encerra o trabalho com as considerações finais a respeito do assunto tratado e discute o atendimento, ou não, dos objetivos propostos.

Os objetivos deste trabalho estão a seguir listados.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia na inibição do desenvolvimento fúngico de duas tintas comerciais aplicadas em sistemas de fachadas e os efeitos da colonização de fungos e formação de biofilme na superfície dos revestimentos.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que possa ser atingido o objetivo geral desta pesquisa, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a riqueza e abundância dos fungos presentes em biofilmes formados sobre as superfícies dos diferentes acabamentos de pintura inspecionados, sob as condições originais e após a limpeza e repintura das fachadas;
- b) Verificar a eficácia, ou não, do procedimento de limpeza e desinfecção e das tintas comerciais aplicadas, ao longo do tempo.

- c) Avaliar, microscopicamente, os efeitos da colonização fúngica e formação de biofilme sobre as superfícies dos revestimentos nas diferentes condições e acabamentos propostos, buscando relacionar aos resultados obtidos no item “a”.
- d) Concluir a respeito de uma possível influência da orientação solar sobre a colonização fúngica nas edificações.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados com maior amplitude, buscando fundamentar de forma teórica, os assuntos relacionados a durabilidade de sistemas de fachadas, noções gerais e composição básica de tintas imobiliárias, efeito dos biocidas, formação da película protetora de tinta sobre o substrato, principais manifestações patológicas em pinturas, biodeterioração, formação de biofilme, desenvolvimento fúngico e os principais gêneros responsáveis pela deterioração de sistemas de fachadas.

### 2.1 DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES

Diante de um conceito histórico, pode-se dizer que a evolução das construções está intimamente ligada ao desenvolvimento sociocultural da sociedade como um todo, visando suprir as necessidades contemporâneas. (MOURA; JUNIOR, 2013). Não obstante, os recursos aplicados e as características ligadas as construções estão sendo constantemente modificadas, sempre em conformidade com as questões locais, tais como a disponibilidade de materiais, transporte e fornecimento, mão de obra, etc. (HUGON, 2004).

Em âmbito nacional, anos de baixo investimento no mercado da construção civil, especialmente no que diz respeito à qualificação da mão de obra e ao investimento em tecnologia de novos materiais, traduziram-se em habitações de reduzida vida útil. A partir disto, surge a necessidade de uma evolução no setor, estabelecendo padrões mínimos de qualidade, traduzidos pelos requisitos prescritos na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013. (CBIC, 2013).

Este processo de transformação é extremamente importante para a sustentabilidade da construção civil, uma vez que a racionalização e industrialização de produtos e serviços tornam-se cada vez mais imprescindíveis. Contudo, ressalta-se que a comprovação do desempenho destes produtos, sobretudo os inovadores, sejam realizados por meio de ensaios, garantindo o atendimento dos padrões mínimos requeridos pelos usuários. (SOUZA, 2015).

Destaca-se, portanto, a necessidade de prescrição de sistemas que atendam a todas as funções para o qual foram projetadas por tempo de vida útil mínimo. Isto garante ao usuário o conforto em sua habitação, e ainda, do ponto de vista

econômico, a minimização de custos com manutenções corretivas por eventual degradação precoce dos sistemas.

No que diz respeito às pinturas, o conceito de durabilidade está relacionado à capacidade de manutenção das propriedades decorativas e de proteção dos revestimentos sob a influência das intempéries. (BRAUN, 2012). As condições do tempo afetam diretamente o desempenho das tintas, manifestando-se através da oxidação dos polímeros, descoloração dos pigmentos, calcinação do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e perda de brilho. Os efeitos da deterioração ainda podem ser intensificados dependendo das condições do substrato. (BRAUN, 2012).

## 2.2 SISTEMAS DE FACHADAS

Define-se fachada, como um elemento construtivo que trabalha em conjunto com a cobertura na proteção das edificações para com o meio externo. Assim, fica evidente a importância da seleção dos materiais que compõem estes sistemas para suportar a agressividade do ambiente e suas intempéries, minimizando a ocorrência de manifestações patológicas. (MENDES, 2009; RIBEIRO, 2010).

Ao longo do tempo, as fachadas foram se tornando elementos fundamentais de expressão arquitetônica, instituída pelos projetistas, e adequadas conforme as características culturais e predileção dos proprietários. Representam a relação entre a parte interna da edificação e o mundo exterior, onde naturalmente, todas as faces devem contribuir com a estética da construção. (BRAGA, 2010).

Em complemento, além de suas funções estéticas, as fachadas influenciam consideravelmente na percepção do usuário quanto ao conforto, segurança e habitabilidade das edificações, visto que promovem a separação entre o ambiente externo e os cômodos internos. Justifica-se, portanto, a indispensabilidade no estudo prévio e prescrição de sistemas construtivos comprovadamente qualificados para que todas as funções sejam cumpridas com excelência. (RESENDE, 2004; MORAIS, 2007).

Ainda assim, manifestações patológicas em fachadas ocorrem com frequência, demandando processos de revitalização, ou até mesmo, substituição dos revestimentos prematuramente, o que eleva os custos previstos em manutenções para correção das eventuais falhas. Em geral, os danos inerentes ao empreendimento relacionam-se com aspectos de desvalorização estética,

deterioração dos sistemas construtivos e a saúde dos usuários. (SATO *et al.*, 2002; SOUZA, 2008).

Sendo assim, o conhecimento dos materiais de acabamento torna-se um fator relevante neste processo, tendo em vista que aqueles que possuem alta absorção de água são mais propensos a colonização biológica, devido à umidade relativa da superfície manter-se acima dos valores críticos por um período prolongado, o que favorece a taxa de proliferação microbiana. Ademais, a redução do pH e a quantidade de oxigênio presente podem acelerar o processo de deterioração. (BARBEROUSSE, 2006; SINGH; CHAUHAN, 2013).

No Brasil, os materiais mais utilizados em acabamentos de fachadas são as argamassas de revestimento, tintas e pastilhas cerâmicas, sendo a sua escolha determinada pelas características e necessidades do projeto e definição entre o incorporador e o projetista. (GEHBAUER *et al.*, 2002).

### **2.2.1 Revestimentos**

A escolha do revestimento adequado para aplicação em paredes externas de uma edificação depende de uma série de fatores, que partem da análise das condições climáticas locais, tendências arquitetônicas, padrão pretendido, custos, etc. Estes, possuem papel fundamental na preservação das fachadas, em virtude da forte ação das intempéries, sendo, portanto, elementos que apresentam manifestações patológicas variadas. (NAKAMURA, 2004).

Neste trabalho, serão abordados os revestimentos de argamassa, definidos pela NBR 13529 (ABNT, 2013), como uma mistura homogênea composta por agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos, água e aditivos. Estes insumos, em conjunto, devem apresentar propriedades de endurecimento e aderência.

Suas principais funções passam pela proteção dos elementos estruturais e de vedação que compõem a fachada contra as ações dos agentes externos, regularização da superfície para recebimento de acabamento decorativo, e ainda, contribuição aos requisitos de isolamento acústico e térmico, resistência ao fogo e durabilidade. (CARASEK, 2007).

Sabe-se que as argamassas de revestimentos são porosas, e quando expostas a ambientes externos sofrem intensamente as ações dos agentes agressivos. Ocorrem, em vista disso, movimentações higroscópicas e térmicas do

revestimento, com maior ou menor intensidade, dependendo de fatores de incidência de chuva, vento e insolação. (THOMAZ, 1989; SANTOS, 2006). A rugosidade proporciona maior aderência aos microrganismos, caracterizando o material como biorreceptivo ao ataque microbiológico, conforme estudo apresentado por Rizzardo (2016).

Em concordância a isto, os estudos de Barberousse (2006) e Shirakawa *et al.* (2003), concluíram que a porosidade e a rugosidade foram os principais fatores de influência na proliferação de microrganismos, assim como o de Dubosc, Escadeillas e Blanc (2001) e Kuenzel e Sedlbauer (2001), mencionados por Giuseppe (2013), que verificaram um aumento no desenvolvimento de algas relacionado à porosidade do material.

A minimização deste problema parte de alternativas de controle do crescimento microbiano, entretanto, visto que não é possível alterar condições ambientais, as soluções aplicáveis contemplam o uso de biocidas na composição dos materiais, ou ainda, na aplicação de tintas industriais que contém tal produto em sua formulação, sendo estas, indicadas para revestimentos externos. (SHIRAKAWA *et al.*, 2002; ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; CRISPIM; GAYLARDE; GAYLARDE, 2004; URZÌ; DE LEO, 2007).

### **2.2.2 Acabamentos**

Como visto, os revestimentos de argamassa devem receber camada de acabamento superficial após adquirir consistência adequada, devendo estar de acordo com as prescrições do projetista. Normalmente utiliza-se a pintura, cerâmica ou textura como composição desta camada final, oferecendo maior proteção e valorização estética as construções. (COSTA, 2005; DIOGO, 2007).

Tendo em vista o escopo desta pesquisa, dar-se-á ênfase ao estudo da aplicação de tintas imobiliárias como camada final de acabamento em edificações, detalhado no capítulo a seguir.

## 2.3 TINTAS IMOBILIÁRIAS

### 2.3.1 Noções Gerais

Fazenda (1995) e Marques (2000) definem “tinta”, de modo bastante semelhante, como uma composição pigmentada líquida, de textura viscosa, que se constitui de pigmentos diluídos em aglomerante, e quando aplicada em uma fina camada, transforma-se depois de determinado tempo em uma película sólida, corada e opaca.

Apresentam consistência líquida, pastosa ou em pó, podendo ser classificadas de acordo com algumas de suas características, tais como, função (pintura em verniz, sólida ou metálica), finalidade (pintura automotiva, decorativa ou industrial), grau de compatibilidade ambiental (à base d’água ou à base de solventes), química do agente formador do filme (tinta de resina alquídica, tinta acrílica ou tinta a óleo), etc. Em consequência disto, percebe-se que a escolha da tinta apropriada depende de informações importantes referentes ao objeto a ser pintado e as condições de aplicação e processo de cura, influenciando diretamente no desempenho do produto. (GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Basicamente, as pinturas têm a função básica de proteger os revestimentos contra as ações externas e oferecer acabamento decorativo, além de ser o método de cobertura mais indicado do ponto de vista econômico. (GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Em termos de números, pode-se dizer que o mercado mundial das tintas possui grande impacto sobre o desenvolvimento econômico das regiões. Nos continentes da América do Norte, Europa e sudeste Asiático, por exemplo, o consumo *per capita* de tintas, no ano de 2006, era de aproximadamente 4,5 kg. O Brasil, por sua vez, está entre os cinco maiores mercados mundiais na comercialização de tintas, produzindo um volume aproximado de 1,5 bilhões de litros no ano de 2018. (GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007; ABRAFATI, 2018).

Ainda segundo informações de Goldschmidt e Streitberger (2007), o consumo de tintas decorativas a nível mundial correspondeu a um percentual de 53% do volume total, seguido pelas tintas produzidas para a indústria em geral (eletrodomésticos, móveis, autopeças, naval, aeronáutica, etc.), com 29%. As linhas de pinturas e repinturas automotivas, tintas de impressão, e outras, representam os

18% complementares do volume total produzido. Comparativamente, em valores atuais, o Brasil apresenta ainda maior disparidade em termos de volume de produção, correspondendo às tintas com funções decorativas, um percentual de 82,7%. (ABRAFATI, 2018).

A classificação dos diferentes tipos de tintas disponíveis no mercado imobiliário depende fundamentalmente das características que lhe são conferidas pelos compostos adicionados à sua formulação. (GIUDICE; PEREYRA, 2009). Deste modo, a Tabela 1 apresenta modelo proposto para classificação de tintas e revestimentos que proporcionam funções protetivas e decorativas ao substrato.

Tabela 1 – Classificação de tintas e revestimentos do setor imobiliário de acordo com suas características e finalidades.

| <b>Tipo</b>    | <b>Características</b>                                                                                                                                                                                             | <b>Finalidades</b>                                                                                                                                |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Massa PVA      | Possui alto teor de sólidos;<br>Indicada para ambientes secos.                                                                                                                                                     | Cobrir imperfeições e nivelar as superfícies para receber os acabamentos.                                                                         |
| Massa Acrílica | Possui alto teor de sólidos;<br>Indicada para ambientes molhados e áreas externas.                                                                                                                                 | Cobrir imperfeições e nivelar as superfícies para receber os acabamentos.                                                                         |
| Primers        | Possui alto teor de sólidos;<br>Formulado com pigmentos anticorrosivos.                                                                                                                                            | Proteger o substrato e formar camada de ligação para receber a tinta.                                                                             |
| Látex PVA      | Tinta à base de água;<br>Uso indicado em ambientes internos (dependendo da qualidade da tinta, também pode ser utilizada em áreas externas);<br>Baixa a média lavabilidade;<br>Secagem rápida;<br>Média cobertura; | Proteger e decorar diferentes superfícies de revestimentos, tais como de argamassa, fibrocimento, gesso, massa PVA, massa acrílica, entre outros. |

Continua...

| <b>Tipo</b>    | <b>Características</b>                                                                                                                                                                            | <b>Finalidades</b>                                                                                                                                    |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Látex Acrílico | Tinta à base d'água;<br>Uso indicado em ambientes externos e em acabamentos de alta qualidade;<br>Excelente lavabilidade;<br>Excelente cobertura;<br>Disponível em fosco, semibrilho e acetinado; | Proteger e decorar diferentes superfícies de revestimentos, tais como de argamassa, fibrocimento, gesso, massa corrida, massa acrílica, entre outros. |
| Texturas       | Possibilita efeito de textura em alto relevo, de formas variadas;<br>Ação hidrorrepelente;<br>Disfarça imperfeições de superfície                                                                 | Proteger e decorar com "texturas" superfícies (internas e externas) de alvenaria, argamassa, concreto, fibrocimento, massa PVA ou acrílica.           |
| Seladoras      | Preservar e recuperar as superfícies anteriormente a aplicação das camadas de acabamento, proporcionando base e aderência.                                                                        | Selar e nivelar superfícies porosas.                                                                                                                  |
| Esmaltes       | Tintas à base de solventes e de água;<br>Proporciona alto brilho;<br>Excelente resistência a intempéries e acabamento;                                                                            | Proteger e decorar superfícies (internas e externas) de madeiras e metais. Disponível em fosco, semibrilho e acetinado.                               |
| Vernizes       | Base de solventes e de água;<br>Oferecem proteção as intempéries;                                                                                                                                 | Proteção de superfícies (internas e externas) de madeira, conservando aspecto natural. Disponíveis em brilho, semibrilho, fosco.                      |
| Stain          | Base de solventes e de água;<br>Impregnante de poros abertos;<br>Hidrorrepelente;<br>Combate na formação de colônias fungos.                                                                      | Proteção de superfícies (internas e externas) de madeira mantendo cor e texturas originais.                                                           |

Fonte: Adaptado de Sichieri e Salado (2007) *apud* Patiño Guío (2013).

### 2.3.2 Composição Básica

De modo geral, todos os ingredientes adicionados à formulação das tintas são classificados em quatro grandes categorias: resinas ou ligantes, pigmentos, solventes e aditivos. (MANNARI; PATEL, 2015). As resinas permitem a formação de uma fina camada que oferece adesão e proteção ao substrato, os pigmentos são responsáveis pela cor e opacidade e os aditivos e solventes melhoram diversas propriedades do produto, tais como a aplicação, estabilidade, fluxo, dureza, sujidade, etc. (WINKELAAR, 2009).

As descrições a seguir referem-se ao detalhamento dos componentes básicos utilizados na fabricação de tintas industriais, baseado nas bibliografias propostas por Fazenda (1995), Marques (2000), Fazenda (2008), Winkelaar (2009), Giudice e Pereyra (2009), Braun (2012), Lewis (2012), Merchak (2012), Spinelli (2012), Yuhas e Montemayor (2012) e Mannari e Patel (2015).

#### 2.3.2.1 Resinas

São veículos ou ligantes que possuem papel fundamental na aglomeração das partículas dos pigmentos e entre os pigmentos e a superfície do substrato, formando uma película protetora. Consideram-se, portanto, como os principais componentes da formulação das tintas, influenciando diretamente sobre algumas propriedades, como dureza, adesão química, resistência ao solvente e durabilidade dos filmes secos. Estas características possibilitam o controle da maioria das propriedades físicas, químicas e mecânicas das tintas.

A origem das resinas pode ser natural, artificial ou sintética, podendo, ou não, relacionar-se com a denominação dada as tintas, como por exemplo, as acrílicas, alquídicas, vinílicas, epoxídicas, etc. Atualmente, proveem das indústrias químicas ou petroquímicas, passando por processo controlado minuciosamente, que deve garantir suas propriedades e seu desempenho.

Em geral, espera-se que as resinas apresentem determinadas características, tais como:

- Solubilidade em solventes ou boa dispersão em água, aumentando sua eficiência no processo de formulação, processamento e aplicação;



- Concordância entre suas propriedades físicas, termomecânicas e ópticas, de acordo com as normas vigentes;
- Compatibilidade com outras resinas, aditivos, solventes e água;
- Capacidade de formar um filme contínuo e aderente ao substrato posteriormente a sua aplicação;
- Possuir boa vida útil em condições normais de armazenamento;
- Competitividade em termos de custos aliado ao conceito de sustentabilidade e uso de recursos renováveis.

### 2.3.2.2 Pigmentos

São substâncias sólidas, finas e insolúveis aos meios líquidos, que quando uniformemente dispersos na resina, transmitem cor e opacidade aos filmes secos, sendo estas características funções primárias dos pigmentos. Dividem-se em dois grupos, ativos e inertes. Os ativos, geralmente conferem cor e boa capacidade de cobertura, e os inertes (cargas), a dureza, consistência e algumas propriedades específicas. Ainda, em determinados casos, oferecem condições especiais às tintas, como a resistência à corrosão, resistência às luzes UV e propriedades que agem na minimização da formação de biofilmes. Os pigmentos também costumam ser usados no controle da reologia, durabilidade e propriedades mecânicas dos filmes secos. Podem ser classificados com base em sua coloração, processo de fabricação (natural ou sintético) e sua natureza química (orgânica, inorgânica).

No que se refere às cores, podem ser acromáticas ou cromáticas (coloridos), encontradas nos seguintes compostos químicos:

- Acromáticos – *pigmentos brancos* (dióxido de titânio, óxido de zinco, óxido de antimônio) e *pigmentos pretos* (negro de fumo, óxido de ferro preto).
- Cromáticos – *pigmentos vermelhos* (vermelho de óxido de ferro, vermelho de toluidina, vermelho de quinacridona), *pigmentos laranjas* (laranja de cádmio, laranja de pirazolona), *pigmentos amarelos* (amarelo cromo, amarelo benzimidazolona), *pigmentos verdes* (óxido de cromo verde e verde de ftalocianina), *pigmentos azuis* (azul de ferro, azul ultramarino, azul de ftalocianina), *pigmentos violeta* (violeta

de cobalto, violeta de dioxazina, violeta de quinacridona) e *pigmentos marrons* (marrom de óxido de ferro, marrom de benzimidazolona).

Já com relação à natureza química, caracterizam-se em inorgânicos e orgânicos, conforme distinção a seguir:

- Inorgânicos - *óxidos* (dióxido de titânio, óxido de ferro vermelho, titanato de níquel amarelo), *sulfuretos* (sulfeto de zinco, sulfeto de cádmio), *cromatos* (amarelo cromo, laranja cromado, cromato de zinco), *molibdatos* (laranja de molibdato, molibdato de zinco), *fosfatos* (fosfato de zinco, fosfato de alumínio), *elementos metálicos* (alumínio, cobre, zinco), *elemento não-metálico* (negro de fumo), *composto de coordenação* (ferro azul) e *outros* (azul ultramarino, vanadato de bismuto, metaborato de zinco).
- Orgânicos - *pigmentos azo* (pigmentos monoazo – vermelho toluidina, amarelo arilamida, vermelho naftol e pigmentos diazo - amarelos diarilídeos, laranja pirazolona), *pigmentos azo especiais* (naftóis; azo por condensação e benzimidazolonas) e *pigmentos policíclicos* (ftalocianina azul e verde, quinacridona, antraquinona, perileno, perinona, dicetopirrolpirrol, tioindigo, dioxazina, quinoxalona, triacrilcarbonos).

#### 2.3.2.3 Solventes

São líquidos voláteis de baixo ponto de ebulição, compostos por um ou mais componentes, que possuem a capacidade de dissolver as resinas sem a necessidade de uma reação química. Tornam as tintas viáveis por meio do controle da viscosidade, e na maioria dos casos, pela redução da tensão superficial do ligante, auxiliando no processo de umectação no estágio de dispersão do pigmento no processo de fabricação. São compostos essencialmente voláteis, devendo evaporar de forma relativamente rápida durante a secagem inicial para evitar o fluxo excessivo e o afundamento, porém, mais lentamente após a formação do filme, de modo a fornecer nivelamento e aderência satisfatórios.

Os grupos de solventes mais utilizados na indústria das tintas são os hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, cetonas e ésteres. Grande parte destes são compostos orgânicos voláteis, produzindo efeitos nocivos à saúde

humana e ao meio ambiente. Neste contexto, diversos países têm buscado alternativas viáveis para a redução das emissões de COV's e criado regulamentações mais rígidas para o uso das tintas. Fato este que influencia diretamente no crescimento do consumo de produtos à base d'água nos últimos anos.

Os solventes podem ser classificados de acordo com a função que desempenham, podendo ser ativa, latente ou diluente. Os ativos são capazes de dissolver a resina e auxiliar na formação do filme. Já os latentes, por si só, não conseguem dissolver as resinas, porém, quando utilizados em conjunto com solventes ativos, apresentam resultados semelhantes. Os diluentes, assim como os latentes, não são capazes de dissolver a resina, mas também, quando combinados com solventes ativos, auxiliam no equilíbrio da taxa de evaporação, na redução da viscosidade do veículo através da diluição, e principalmente, reduzem os custos dispendidos.

Na indústria de tintas, o Tíner (do inglês "*Thinner*") é o termo usual para a combinação otimizada dos diferentes tipos de solventes, no qual é adicionado as tintas previamente ao uso para auxiliar na redução da viscosidade e otimizar a aplicação.

Em geral, bons solventes devem possuir as seguintes características:

- Dissolver completamente as resinas;
- Ser suficientemente voláteis para evaporar do filme sem deixar resíduos;
- Ser inertes aos demais ingredientes;
- Possuir baixo odor e toxicidade.

#### 2.3.2.4 Aditivos

São substâncias adicionadas as tintas, a fim de lhes conferir propriedades específicas que facilitem no processo de fabricação e armazenamento, e ainda, melhorem as condições de aplicabilidade, durabilidade e desempenho dos produtos. Todo e qualquer insumo adicionado à formulação das tintas que não sejam resinas, pigmentos ou solventes, devem ser considerados como aditivos. As quantidades adicionadas não ultrapassam 5% (em peso) da composição. A indústria química oferece uma vasta diversidade de aditivos disponíveis para utilização em tintas e

vernizes, tais como, dispersantes (auxiliam na dispersão dos pigmentos), secantes (auxiliam na rapidez das secagens dos filmes), antissedimentares, antiespumantes, antipele, niveladores, bactericidas e fungicidas, entre outros.

Algumas considerações importantes referentes ao uso de aditivos devem ser ponderadas e estão listadas a seguir:

- Certos aditivos, por serem demasiadamente específicos, garantem sua eficiência apenas em um determinado conjunto de situações, podendo não apresentarem quaisquer resultados caso utilizados para outros fins;
- O uso em excesso de aditivos também pode causar efeitos indesejáveis, devendo as quantidades serem calculadas por especialistas em formulações, com entendimento das suas interações com os outros ingredientes;

### **2.3.3 Processos de Fabricação**

Detalha-se aqui, os processos de fabricação de tintas à base de solvente e água para o mercado imobiliário.

De modo geral, Yanamaka *et al.* (2006) atribuem ao setor das tintas a característica essencial da produção em lotes, que efetivamente facilita o processo no que diz respeito ao ajuste das cores e propriedades finais desejadas.

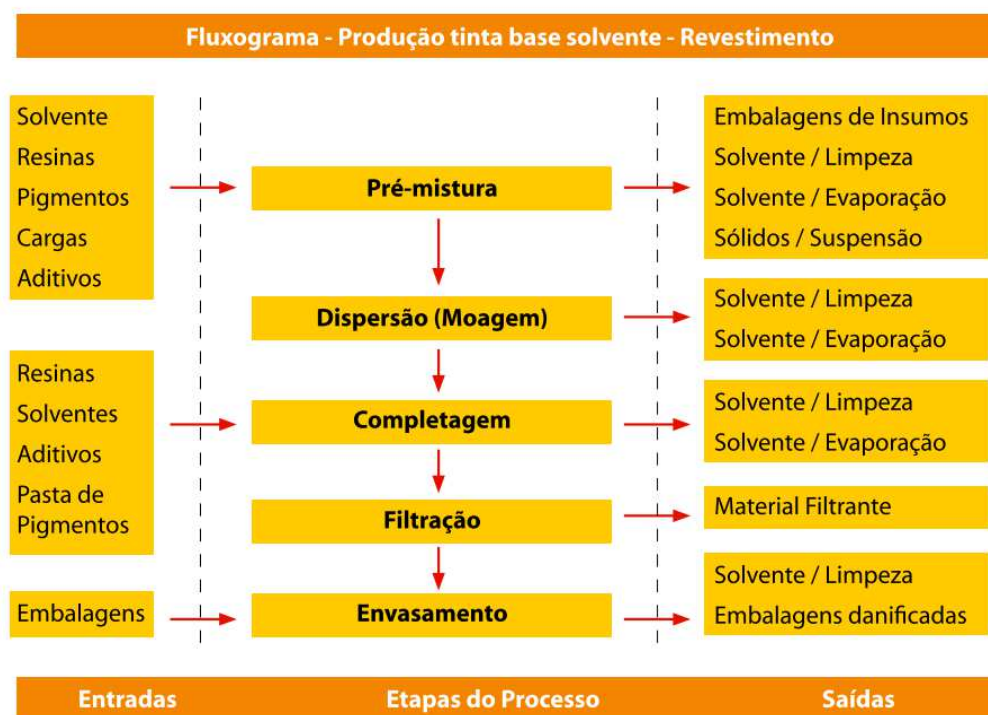
#### **2.3.3.1 Produção de tintas à base de solvente**

O sistema de produção de tintas à base de solventes ocorre por meio de operações controladas que iniciam posteriormente à pesagem e medição volumétrica de todos os insumos selecionados. Estes, são pré-misturados em um tanque com agitação constante, até que se atinja consistência pastosa e certa homogeneização. Logo após, realiza-se a moagem, visando obter uma solução próxima à líquida. Isto ocorre durante a transferência entre os tanques de pré-mistura e completagem, processo no qual acontece a desagregação dos pigmentos e cargas, concomitantemente à maximização e estabilização da dispersão destes sólidos. Na operação final, conhecida como completagem, misturam-se o produto da dispersão e demais componentes, a fim de ajustar alguns parâmetros, como a

viscosidade, correção do teor de sólidos, acerto da cor, passando, por fim, à filtração e envase das embalagens. (YANAMAKA et al., 2006; GIUDICE; PEREYRA, 2009). A

Figura 1 ilustra o fluxograma de processos necessários para fabricação de tintas à base de solventes.

Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação de tintas à base de solvente



Fonte: YANAMAKA *et al.* (2006, p. 35).

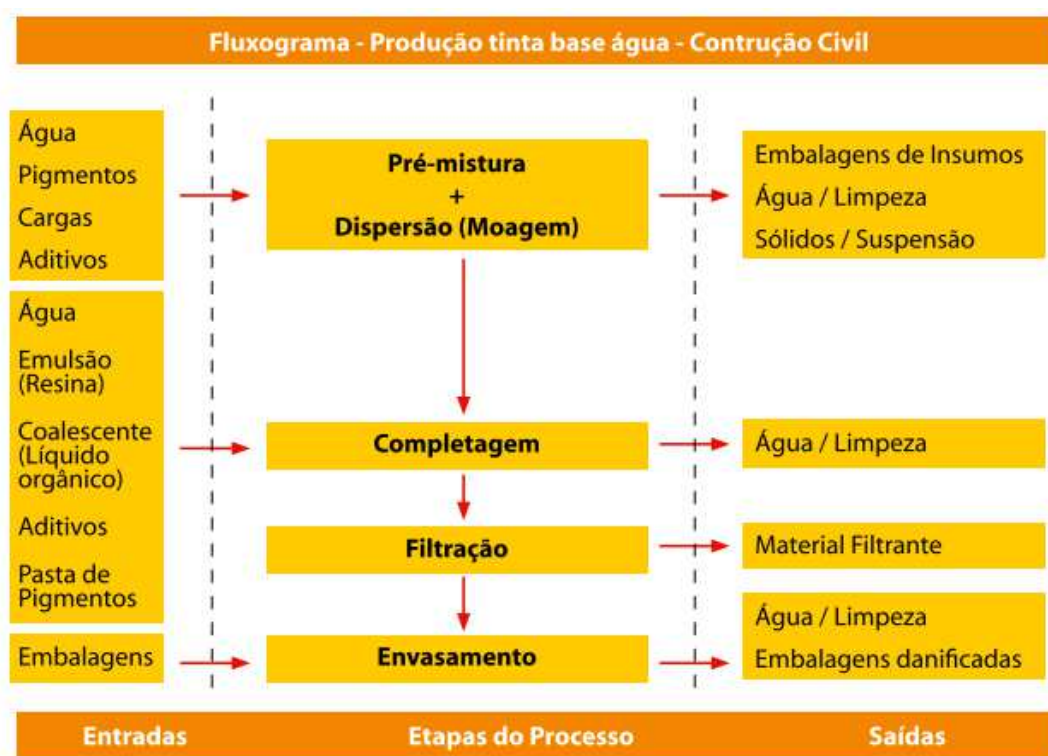
### 2.3.3.2 Produção de tintas à base de água

Atualmente, as tintas à base de água representam 80% do consumo total no segmento de tintas decorativas para o mercado da construção civil, sendo constituídas por 98% de água e 2% de compostos orgânicos. (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Seu processo produtivo, conforme apresentado pela Figura 2, ocorre de maneira semelhante ao utilizado com as tintas à base de solvente, através da pré-mistura e dispersão, completagem, filtração e envase, no entanto, de maneira simplificada. A pré-mistura é realizada por meio da agitação dos insumos, isto é, água, pigmentos, cargas e aditivos, em equipamento adequado, seguido do

processo de dispersão que é obtido pelos esforços de cisalhamento e impactos do meio de moagem, tudo isto, no mesmo equipamento. A completagem, que depende fundamentalmente da ordem de inclusão dos materiais para garantia do processo, sucede-se pelas adições de água, emulsões, aditivos coalescentes e produtos da dispersão, sendo nesta etapa realizadas as correções e acertos finais na cor. Ao final, filtração e envase. (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Figura 2 – Fluxograma do processo de fabricação de tintas base água



Fonte: YANAMAKA *et al.* (2006, p. 37).

### 2.3.4 Mecanismos de Formação da Película de Tintas

O processo de formação da película, também denominada neste trabalho como filme seco, está diretamente ligado à resina (ligante) utilizada na composição do produto, interferindo consideravelmente nas propriedades físico-mecânicas de flexibilidade, dureza e adesão, por exemplo. (GIUDICE; PEREYRA, 2009).

Goldschmidt e Streitberger (2007) destacam, ainda, a importância de um agente formador de filme para obtenção das melhores propriedades da camada de revestimento, que auxilia na proteção e decoração dos mais diversos objetos. Estes

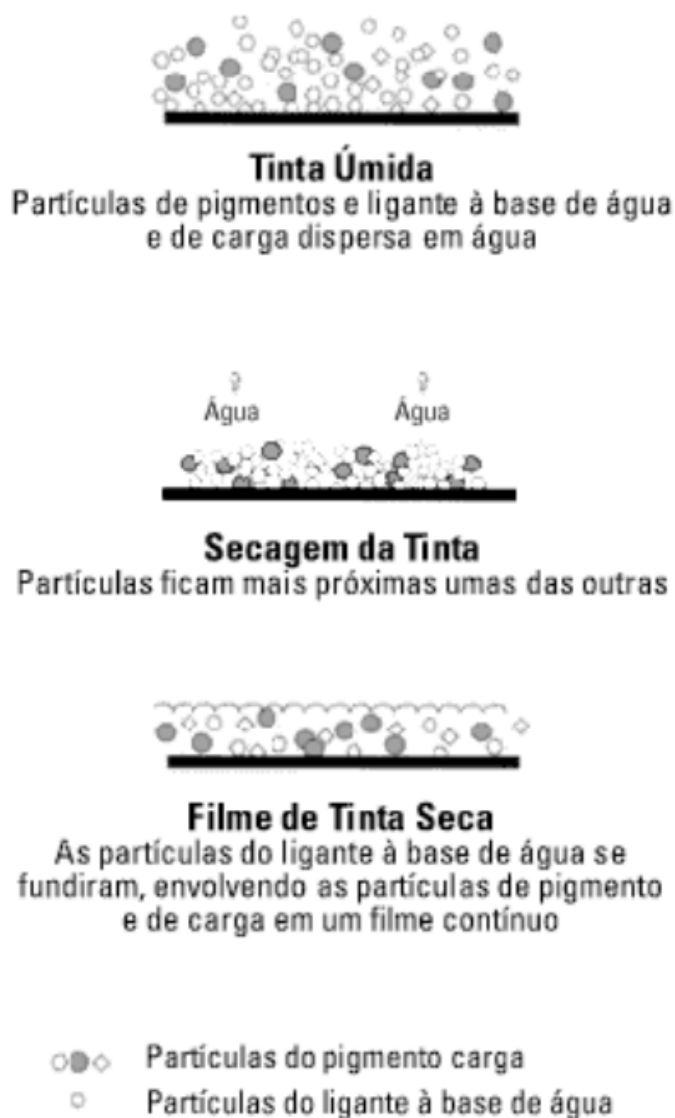
agentes podem ser termoplásticos ou quimicamente reativos. Os termoplásticos são aqueles nos quais a solidificação da película ocorre exclusivamente de modo físico pela evaporação dos solventes e diluentes, sendo possível redissolver tais películas no contato com solventes semelhantes aos que foram utilizados no processo. Os quimicamente reativos formam ligações reticuladas com as moléculas das resinas do composto durante a formação do filme, tornando o processo irreversível. Os agentes termoplásticos, utilizados em tintas látex, caracterizam-se pela secagem rápida e uma proporção direta entre a espessura da película e o teor de sólidos contido no produto. (GIUDICE; PEREYRA, 2009; GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Durante o processo de secagem das tintas, ocorre a transição do estado líquido para o sólido por meio da evaporação dos solventes, ou água. O resultado consiste na formação de uma película fina que garante a proteção desejada ao substrato. No caso das tintas látex, obtém-se a formação de um filme termoplástico a partir de uma emulsão aquosa formada pela adição de um copolímero vinil-acrílico, conjuntamente aos corantes e aditivos. O fenômeno que ocorre na transformação das tintas (estado líquido) em revestimentos (estado sólido) é conhecido como coalescência das partículas poliméricas, no qual a água evaporada proporciona fusão entre suas partículas, formando uma película irreversível aderente ao substrato. À medida em que esta água evapora, a pressão hidrodinâmica acarreta um agrupamento de pequenas esferas, até que a ação capilar force uma fundição entre as partículas, e por consequência, a formação de um filme contínuo. (MARQUES, 2000; FAZENDA, 2008; WINKELAAR, 2009).

A escolha do polímero é fundamental, visto que polímeros muito duros encontrados na natureza tendem a formar filmes frágeis e pouco aderentes. Por esta razão, inclusive, muitos fabricantes não indicam a aplicação de tintas látex à base de água em ambientes de baixas temperaturas. (MARQUES, 2000; FAZENDA, 2008; WINKELAAR, 2009).

O processo de cura, por sua vez, é explicado pelo conjunto de fatores físicos e químicos capazes de transformar o material de seu estado original (termoplásticos), em uma condição fixa (termoestáveis), ou seja, que não pode mais ser alterada. As tintas que formam o filme através da combinação de dois mecanismos, secagem e cura, são comumente chamadas de conversíveis. É possível entender este processo por meio da Figura 3. (GIUDICE; PEREYRA, 2009).

Figura 3 – Mecanismo de formação da película em tintas à base de água



Fonte: MARQUES (2013, p. 28).

### 2.3.5 Biocidas

Biocidas são compostos aditivos que agem diretamente na inibição do crescimento de microrganismos como bactérias, fungos e algas. Estes são adicionados à formulação das tintas em decorrência da sua suscetibilidade aos ataques microbiológicos. Logo, seu objetivo é proteger a integridade e desempenho dos produtos durante o período de armazenamento e após o uso. Os biocidas dividem-se em duas categorias: os de uso para conservação em lata e os de uso para preservação do filme seco, ou película, formada sobre o substrato a ser



protegido. (ALSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; WOODWARD, 2012; MANNARI; PATEL, 2015).

Os ataques microbiológicos aos componentes biodegradáveis (nutrientes para manutenção de suas funções vitais) adicionados à formulação das tintas provocam a perda de viscosidade, diminuição de pH, odor característico de putrefação, eliminação de gases, entre outros, quando no período de armazenamento. Se tratando da pintura após a formação do filme seco, a ação dos microrganismos pode danificar as superfícies por meio da formação de biofilmes que afetam a sua durabilidade e estética. (GIUDICE; PEREYRA, 2009).

Em vista disso, no momento da escolha do produto químico, bem como a dosagem a ser adicionada nas formulações, é fundamental definir em qual destes fatores pretende-se obter eficácia, seja na conservação do produto durante o armazenamento, ou na extensão da vida útil do filme seco. (GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Woodward (2012) e Mannari e Patel (2015) indicam que, dentre as tintas imobiliárias comercializadas, as de base água possuem maior propensão à contaminação por bactérias, leveduras e fungos filamentosos. Consequentemente, os biocidas para preservação em lata devem, preferencialmente, ter alta solubilidade em água, estabilidade em uma ampla faixa de valores de pH, ser ambientalmente aceitáveis, além de se degradar ou evaporar do filme seco sem causar quaisquer efeitos sobre seu desempenho.

Em virtude do ambiente rico em oxigênio, os microrganismos aeróbios e anaeróbios facultativos iniciam o processo de degradação em lata, resultando em produtos da decomposição que atuam como fontes de nutrientes para outras bactérias. Quando na ausência de oxigênio, a atuação é dos microrganismos anaeróbios, produzindo ácidos em seus processos metabólicos (reduzindo o pH) e gases ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ), que podem abaular as latas e gerar maus odores. (WOODWARD, 2012; MANNARI; PATEL, 2015).

As matérias-primas aquosas, como antiespumantes, surfactantes e agentes umectantes também são suscetíveis à degradação bacteriana, contudo, a fonte mais comum de contaminação provém da água adicionada ao processo. Por isso, a adição de biocidas é essencial para evitar a contaminação. Citam-se aqui alguns dos conservantes de amplo espectro utilizados para conservação em lata: Isotiazolinonas (eficazes contra bactérias, fungos e leveduras), liberadores de

formaldeído, tais como compostos o-hidroximetil, 1,3-oxadolidinas e N-hidroximetil cloroacetamida (também são efetivos, podendo ser utilizados em combinação com outros biocidas), compostos fenólicos substituídos por alquilo e halogêneo tais como sais de sódio de o-fenilfenol (igualmente eficientes, entretanto, com restrições ao uso devido à sua potencialidade nociva à saúde). (WOODWARD, 2012; MANNARI, PATEL; 2015).

Propõe-se, por meio da Tabela 2, uma listagem mais completa dos diferentes biocidas utilizados para a conservação das tintas em lata, descrevendo ainda os organismos alvos e o modo de ação que o produto age sobre eles. Sua função principal é evitar a contaminação microbiana durante o processo de fabricação e armazenamento.

Tabela 2 – Biocidas utilizados na conservação das tintas em lata

| Nome Químico                                                                      | CAS Nº.*   | Organismos Alvo                   | Modo de Ação                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4,4-dimetiloxazolidina                                                            | 51200-87-4 | Bactérias e Fungos                | Liberador de formaldeído                                                                    |
| 5-hidróximetil-1-aza-3,7-dioxabicyclo (3,3,0) octano                              | 56709-13   | Bactérias – como bacteriostáticos | Liberador de formaldeído                                                                    |
| Hexa-hidro-1,3,5-tris (hidroxietil)-s-triazina                                    | 4719-04-4  | Bactérias                         | Liberador de formaldeído                                                                    |
| Hexa-hidro-1,3,5-trimetil-s-triazina                                              | 7779-27-36 | Bactérias                         | Liberador de formaldeído                                                                    |
|                                                                                   | 44080-31-3 | Bactérias e Fungos                | Liberador de formaldeído                                                                    |
| 1-(3-cloroalil)-3,5,7-triaza-1-azonia-adamantano 2 [(Hidroximetil) amino] etanol  | 34375-28-5 | Bactérias e Fungos                | Inibe o transporte ativo; coagula a proteína; hidrólise resulta na liberação de formaldeído |
| 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolin-3-ona                                         | 64359-81-5 | Fungos e Algas                    | Reage com tióis e aminas                                                                    |
| ([[(2-di-hidro-5-metil-3 (2H) - oxazolil) -1- metiletoxi] metoxi] metoxi] metanol | 40382-75-0 | Bactérias e Fungos                | Liberador de formaldeído                                                                    |

Continua...

| Nome Químico                                                                                                   | CAS Nº.*                        | Organismos Alvo           | Modo de Ação                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                | 70161-44-3                      | Bactérias e Fungos        | Liberador de formaldeído                                                                     |
| Hidroximetilglicinato de sódio 1-hidroximetil-3,5-dimetilpirazol                                               | 85264-33-1                      | Bactérias                 | Inibe a desidrogenase do álcool e o metabolismo do etanol                                    |
| 1,2-dibromo-2,4-dicianobutano                                                                                  | 35691-65-7                      | Bactérias, Fungos e Algas | Possui vários centros de retirada de elétrons                                                |
| 5-cloro-2-metil-3 (H) -isotiazolina + 2-metil-3 (H) -isotiazolina                                              | 26172-55-4 e 2682-20-4          | Bactérias                 | Inibe a síntese macromolecular (DNA, RNA, proteínas, etc.) além de formas altamente reativas |
| 1,2-benzisotiazolina-3-ona                                                                                     | 2634-22-5                       | Bactérias                 | Reage com grupos tiol, especialmente aqueles associados à membrana citoplasmática            |
| 2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol                                                                                | 52-51-7                         | Bactérias                 | Reage com grupos tiol, especialmente aqueles associados a enzimas                            |
| Mistura de 1,2-benzisotiazolino-3-ona + 2-metil-3 (H) -isotiazolina                                            | 2634-22-5 e 2682-20-4           | Bactérias                 | Reage com grupos tiol                                                                        |
| Mistura de 1,2-benzisotiazolino-3-ona + 2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol                                        | 2634-22-5 e 52-51-7             | Bactérias                 | Reage com grupos tiol                                                                        |
| Mistura de 5-cloro-2-metil-3 (H) -isotiazolina + 2-metil-3 (H) -isotiazolina + 2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol | 26172-55-4, 2682-20-4 e 52-51-7 | Bactérias                 | Reage com grupos tiol                                                                        |

Nota: CAS Nº refere-se ao indicador numérico exclusivo atribuído pelo *Chemical Abstracts Service*, divisão pertencente a Sociedade Americana de Química. São fornecidos aqui, com o intuito de permitir a correta identificação química dos ativos, caso necessário.

Fonte: Adaptado de Woodward (2012)

Na preservação dos filmes secos, consideram-se que os microrganismos envolvidos são, do mesmo modo, as bactérias, fungos unicelulares (leveduras) e pluricelulares (filamentosos), e algas. Os microbicidas, neste caso, têm a função de retardar a deterioração dos filmes secos quando aplicados às superfícies de substratos, durante o seu prazo de validade. Sabe-se que, no caso dos fungos filamentosos, estes colonizam as superfícies produzindo micélios e esporos, na maioria das vezes de pigmentação escura, que desfiguram as pinturas, podendo afetar ainda a aderência pelo crescimento na interface entre camadas. (WOODWARD, 2012; MANNARI; PATEL, 2015).

Em oposição aos conservantes utilizados em lata, a solubilidade em água e volatilidade, neste caso, devem ser baixas, evitando a lixiviação do filme e garantindo maior proteção a longo prazo. São usualmente aplicados como conservantes das películas protetoras: benzimidazóis, tais como carbendazim, octil isotiazolinona, carbamatos e ditiocarbamatos, como tirame, piritionato de zinco e clorotalonil e derivados de fenilureia, isto é, diuron e isoproturon. (WOODWARD, 2012; GIUSEPPE, 2013; MANNARI; PATEL, 2015).

Nota-se que os agentes químicos utilizados na conservação em lata são diferentes dos adicionados para preservação dos filmes, isto porque, no primeiro caso, a contaminação é majoritariamente causada por bactérias, e no segundo, por fungos e algas. Isto fica evidentes quando analisa-se os biocidas mencionados na Tabela 2, específicos para o combate de bactérias, ao contrario da Tabela 3, a seguir, na qual são demonstrados produtos eficazes no combate a fungos e algas. (WOODWARD, 2012).

Giuseppe (2013) estima que, genericamente, o tratamento biocida pode retardar o crescimento microbiano em substratos pintados, aumentando a vida útil dos acabamentos para um período de 5 a 10 anos. Apesar disso, os biocidas naturalmente possuem prazos de validade, reduzindo sua eficácia ao longo do tempo.

Tabela 3 – Biocidas utilizados na preservação de filmes secos de tintas

| <b>Nome Químico</b>                                                              | <b>CAS Nº.</b>         | <b>Organismos Alvo</b>                          | <b>Modo de Ação</b>                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Diiodometil-p-tolil sulfona                                                      | 20018-09-1             | Fungos                                          | Reage com componentes celulares nucleofílicos                   |
| 2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona                                                   | 26530-20-1             | Fungos                                          | Reage com tióis e aminas                                        |
| Butilcarbamato de 3-iodo-2-propinilo                                             | 55406-53-6             | Fungos e Algas                                  | Quelatos metálicos                                              |
| 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolin-3-ona                                        | 64359-81-5             | Fungos e Algas                                  | Reage com tióis e aminas                                        |
| 1H-benzimidazol-2-ácido ilcarbâmico, éster metílico                              | 10605-21-7             | Fungos                                          | Inibe a formação de microtúbulos mitóticos                      |
| N- (triclorometiltio) ftalimida                                                  | 133-07-3               | Fungos                                          | ...                                                             |
| N' - (3,4-diclorofenil) -N, N-dimetilureia                                       | 330-54-1               | Algas                                           | Inibe a fotossíntese                                            |
| 2-(tiocianometiltio)-benzotiazol                                                 | 21564-17-0             | Fungos e Algas                                  | Reage com tióis; inativa complexos enzimáticos metálicos        |
| N-ciclopropil-N' - (1,1-dimetiletil) -6-(metiltio) -1,3,5-triazina-2,4-diamina   | 28519-98-0             | Algas                                           | Reage com grupos tiol; Inibe a fotossíntese                     |
| 2,4,5,6-tetracloro isoftalonitrilo                                               | 1897-45-6              | Fungos e Bactérias gram positivas               | Reage com aminas; quelados; interrompe o transporte de elétrons |
| 2- (tiocianometiltio) -benzotiazol + metileno bis (tiocianato)                   | 21564-17-0 e 6317-18-6 | Bactérias, Fungos, Algas e Bactérias Anaeróbias | Desacopla a fosforilação oxidativa; reage com tióis             |
| 1 - ([2- (2,4-diclorofenil) -4-propil-1,3-dioxolan-2-il] metil) -H-1,2,4-triazol | 60207-90-1             | Fungos                                          | Inibe a desmetilação do ergosterol nas membranas celulares      |
| Zinco-2-piridinotiol-N-óxido                                                     | 13463-41-7             | Fungos e Algas                                  | Quelatos metálicos necessários                                  |

Continua...

| <b>Nome Químico</b>                                                                                                                                                             | <b>CAS Nº.</b>                      | <b>Organismos Alvo</b>                   | <b>Modo de Ação</b>                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Metaborato de bário                                                                                                                                                             | 13701-59-2                          | Bactérias e Fungos                       | Inibe enzimas                                                          |
| Cloridrato de dodecilguanidina                                                                                                                                                  | 13590-97-1                          | Bactérias, Fungos e Algas                | Surfactante catiônico que perturba as paredes celulares e o citoplasma |
| Mistura de 3-iodo-2-propinil butilcarbamato + 1-benzimidazol-2-ilcarbâmico, éster metílico                                                                                      | 55406-53-6 e 10605-21-7             | Fungos e Algas                           | Inibe a formação de microtúbulos mitóticos                             |
| Mistura de 3-iodo-2-propinil butilcarbamato + ácido 1H-benzimidazolo-2-ilcarbâmico, éster metílico + N-ciclopropil-N'-(1,1-dimetiletil)-6-(metiltio)-1,3,5-triazina-2,4-diamina | 55406-53-6, 10605-21-7 e 28519-98-0 | Fungos e Algas                           | Inibe a formação de microtúbulos mitóticos e a fotossíntese            |
| Mistura de butilcarbamato de 3-iodo-2-propinilo + N'-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia                                                                                        | 55406-53-6 e 330-54-1               | Fungos e Algas                           | Inibe as reações da fotossíntese                                       |
| Mistura de 3-iodo-2-propinil butilcarbamato + 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolin-3-ona                                                                                         | 55406-53-6 e 64359-81-5             | Fungos e Algas                           | Reage com tióis e aminas                                               |
| Mistura de 3-iodo-2-propinil butilcarbamato + -n-octil-4-isotiazolina-3-ona + N'-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia                                                            | 55406-53-6, 26530-20-1 e 330-54-1   | Fungos e Algas                           | Reage com tióis e aminas e inibe a fotossíntese                        |
| Mistura de 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolin-3-ona + N-ciclopropil-N'-(1,1-dimetiletil)-6-(metiltio)-1,3,5-triazina-2,4-diamina                                               | 64359-81-5 e 28519-98-0             | Fungos e Algas                           | Reage com tióis e aminas                                               |
| Mistura de 4,5-dicloro-2-n-octil-4-isotiazolin-3-ona + 2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona                                                                                           | 64359-81-5 e 26530-20-1             | Fungos e Algas                           | Reage com tióis e aminas                                               |
| Mistura de 2-n-octil-4-isotiazolina-3-ona + 2,4,5,6-tetracloro isoftalonitrilo + N'-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia                                                         | 26530-20-1, 1897-45-6 e 330-54-1    | Fungos, Algas e Bactérias gram positivas | Reage com tióis e aminas; metais quelados; inibe a fotossíntese        |
| Mistura de 2,4,5,6-tetracloro isoftalonitrilo + N'-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia                                                                                          | 1897-45-6, 330-54-1                 | Fungos, Algas e Bactérias gram positivas | Reage com aminas; metais quelados; inibe a fotossíntese                |
| Mistura de éster metílico do ácido N-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetilureia + 1H-benzimidazole-2-ilcarbâmico                                                                       | 330-54-1, 10605-21-7                | Fungos e Algas                           | Inibe a formação de microtúbulos mitóticos e a fotossíntese            |

Fonte: Adaptado de Woodward (2012)

De acordo com Woodward (2012), estudos realizados por Jackson e Jones (1988) e O'Neill (1988) indicaram a sucessão de populações microbianas no filme seco de superfícies pintadas com tintas imobiliárias. Na ocasião, concluiu-se que, inicialmente, as bactérias colonizam os revestimentos e produzem material capsular extracelular. Posteriormente, o condicionamento da superfície permite o crescimento dos demais microrganismos. Os fungos, heterotróficos, nutrem-se de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos insumos e em resíduos da decomposição dos organismos mortos. As algas, autotróficas, pela presença de umidade, temperatura e luminosidade para realização da fotossíntese. Assim, indicam-se a utilização de biocidas de amplo espectro em atividade, em função da riqueza de microrganismos.

A efeito dos biocidas em microrganismos pode ocorrer de formas distintas, dispostas na Tabela 4. Os processos incluem a oxidação, hidrólise, desnaturação, lise celular, inibição metabólica e alteração da permeabilidade da membrana.

Tabela 4 – Mecanismos de ação de biocidas em microrganismos.

| <b>Modo de ação</b>                                                                                     | <b>Agentes químicos responsáveis</b>                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Ação oxidante - causa lise (destruição ou dissolução) da parede celular e dos constituintes celulares   | Hipoclorito, bromo e seus compostos e ozônio.         |
| Membrana ativa – pode afetar os mecanismos de transporte ativo ou interromper a integridade da membrana | Compostos de amônio quaternário, álcoois e parabens   |
| Desnaturação da proteína - afeta a atividade biológica                                                  | Fenóis, aldeídos, formaldeídos condensados e parabens |
| Inibidor da síntese proteica - liga-se a grupos tiol na atividade enzimática da célula                  | Isotiazolinonas, Bronopol, Dibromodicianobutano.      |
| Inibidor da divisão nuclear - age na inibição da síntese do DNA                                         | IPBC, Carbendazin                                     |
| Inibidor da síntese da membrana - impede a síntese de ergosterol em fungos                              | Imazalil, Tebuconazol, Propiconazol                   |
| Inibição da fotossíntese - afeta o transporte de elétrons                                               | Diuron, Irgarol, Terbutrex                            |

Fonte: Adaptado de Giuseppe (2013)

Em um compilado das bibliografias de Alsopp, Keal e Gaylarde (2004), Goldschmidt e Streitberger (2007), Giudice e Pereyra (2009), Woodward (2012), Giuseppe (2013) e Mannari e Patel (2015), descreve-se a seguir as características das principais classes de oxidantes encontrados atualmente:

- Catiônicos: desempenham uma ação tensoativa sobre a membrana citoplasmática, alterando sua permeabilidade e modificando o balanço osmótico. Os quaternários de amônio são antimicrobianos de ação rápida, encontrados normalmente na formulação de desinfetantes. No entanto, devido a sua estabilidade de pH e resistência ao calor, também podem ser utilizados como biocidas, desde que não haja combinação com surfactantes aniônicos ou altos níveis de proteínas e sais, reduzindo expressivamente sua eficácia. Possuem amplo espectro de combate as bactérias e controle no crescimento de algas e são conhecidos como biocidas ecológicos.
- Fenólicos: atuam na inativação enzimática inibindo a síntese metabólica. Em geral, apresentam-se como bactericidas, porém, no caso do ortofenilfenol, além de possuir atividades fungicidas, seu sal de potássio pode ser combinado com compostos de quaternários de amônio para a desinfecção de alvenarias previamente o procedimento de repintura, oferecendo-se como um biocida de amplo espectro. Negativamente, o fenol em si é um potente carcinógeno, e por esta razão, os oxidantes fenólicos têm sido substituídos por compostos desenvolvidos com tecnologias atuais, tais como os de isotiazolina.
- Isotiolinonas: possuem um anel de isotiazolinona de cinco membros que conferem às moléculas resultantes propriedades biocidas, incluindo boa atividade na inibição da formação de biofilmes. Os principais derivados em uso comercial são metil, metilcloro, benzil, octil e dicloro-octil. Para conservação da tinta em lata, indica-se o uso de derivados de metilcloro, que controlam uma ampla gama de bactérias e fungos, ou de derivados de etil e benzil, com características bactericidas. Na preservação do filme seco, os derivados de octil e dicloro-octil possuem baixa solubilidade e boa atividade contra fungos e algas.



- Halogenados: são responsáveis por produzir a substituição de complexos covalentes. O bromonitropropano diol, ou Bronopol (nome comercial), é utilizado para conservação em lata. Possui as mesmas características de desativação que as isotiazolinonas, no entanto, é ainda mais efetivo como bactericida e fungicida. Inclusive, ambos podem ser combinados para ampliar o espectro de atividade. Com relação à preservação do filme seco, o Carbendazim (fungicida proveniente do setor agroquímico) proporciona a proteção contra a formação de biofilmes e desenvolvimento de algas e fungos, além de possuir baixa solubilidade em água. É indicado para ambientes externos, sobretudo na ação antifúngica, apesar de apresentar lacunas em seu espectro quanto a inibição do desenvolvimento de *Alternaria* sp. Quando combinado com outros fungicidas, como octilisotiazolinona e diclorofenil dimetilureia, pode aumentar expressivamente o tempo de proteção de revestimentos externos de edifícios, sendo esta combinação muito eficaz na preservação do filme seco.
- Aldeídos: reagem com os grupos carboxílicos de aminoácidos, amino das moléculas de proteína e sulfidrilas (responsáveis pela estrutura das proteínas e organelas). Os formaldeídos costumam ser usados em combinação com isotiazolinonas como biocidas para conservação das tintas em lata. Os glutaraldeídos, normalmente são utilizados como desinfetantes para esterilização a frio e como uma alternativa ao tratamento térmico em autoclave. Ambos, formaldeído e glutaraldeído, possuem boa atividade esporicida.

Ao longo do tempo, alguns destes compostos têm sido substituídos, em função da nocividade à saúde e ao meio ambiente. O formaldeído, por exemplo, tem sido eliminado das formulações por ser um potencial cancerígeno. Os biocidas à base de mercúrio e clorofenol foram removidos do mercado pela alta toxicidade, e substituídos pelos compostos de isotiazolina. As isotiazolinas, por sua vez, possuem algumas restrições de uso por características alergênicas, assim como os fungicidas à base de trifenil estanho ou tributil estanho que podem causar irritações na pele e problemas endócrinos. (YANAMAKA *et al.*, 2006; GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007).

Justamente pelo alto número de compostos perigosos apresentados, os fornecedores obrigatoriamente devem disponibilizar a FISPQ dos produtos. Este documento orienta sobre os produtos químicos da composição, apresentando testes químicos, físicos e toxicológicos e cuidados necessários que minimizam o risco de acidentes e usos inadequados. (FAZENDA, 1995).

Por fim, Goldschmidt e Streitberger (2007) ressaltam a necessidade constante de aprimoramento dos biocidas disponíveis no mercado, tendo em vista a rápida adaptabilidade dos microrganismos a novas condições, fato este que não garante a eficácia de produtos com resultados positivos comprovados.

### **2.3.6 Recomendações Técnicas para Recuperação de Pinturas**

A realização de um procedimento de pintura bem-sucedido está diretamente ligada ao planejamento das técnicas de preparação da superfície e aplicação correta das tintas. Existem pequenas divergências entre métodos em função do tipo de substratos e suas condições, delimitando-se aqui ao preparo de paredes de alvenaria revestidas de argamassa e realização do procedimento de repintura.

Bolorino, Alba e Ritti (1995), Camtech (2007), Fazenda (2008), Breitbach (2009), Marques (2013) e KLM (2013) orientam a respeito de técnicas a serem consideradas em processos de repintura de paredes de alvenaria, conforme descrito a seguir.

- Deve-se remover as partes soltas, sujas e mal aderidas que apresentem escamação excessiva e realizar aplicação de produto desinfetante em toda área de interesse, esfregando-a com escova de cerdas ou lixa. Após o tempo de ação necessário, esta deve ser limpa, preferencialmente por hidrojateamento. Indica-se, para tanto, o uso do hipoclorito de sódio como agente desinfetante. Salienta-se que, embora recomendada, a combinação de hipoclorito e limpeza a jato de alta pressão pode deixar resíduos de propágulos fúngicos viáveis, como observado por Shirakawa *et al.* (2002). De fato, existe a possibilidade futura de que esta condição afete a durabilidade das pinturas;

- Aguardado o tempo de secagem das paredes de alvenaria, inicia-se o preenchimento de fissuras e demais pontos afetados, utilizando massa acrílica (ambientes externos) para uniformização do substrato;
- Nivelam-se a superfície com o uso de lixas de grão 180 a 360 para alvenaria nos pontos de aplicação de massa acrílica, e nas demais áreas da parede, com lixas de grão 360 a 400, a fim de eliminar o brilho;
- Com pano seco, deve-se manter o local livre de pó, de forma a melhorar as condições de aderência da película de tinta ao substrato;
- Aplica-se, por fim, o fundo nivelador, e as demãos de tintas necessárias (mínimo duas), observando os tempos de secagem dispostos pelo fabricante entre cada uma delas.

Observações gerais: em caso de chuvas, a superfície deve secar completamente (2 a 3 dias de sol) para iniciar a nova pintura. Além disso, os procedimentos de limpeza por hidrojateamento e pintura não devem ser executados em temperaturas menores que 3°C, acima do ponto de orvalho, ou umidade relativa do ar superior a 85%. Recomenda-se fortemente a limpeza periódica da superfície pintada para a remoção de contaminantes e microrganismos depositados sobre o substrato.

## 2.4 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADAS

As manifestações patológicas em edificações podem ocorrer em quaisquer dos elementos que a compõem, de forma individual ou em conjunto, geralmente com maior intensidade em sistemas construtivos de vedação entre o meio interno e externo. Helene (1993) relata a indispensabilidade do estudo das origens, causas e sintomas de forma detalhada, a fim de compor um diagnóstico para a busca da solução dos problemas. Ainda segundo o autor, as anomalias com maiores incidências são as de variações térmicas e higroscópicas, de cunho estrutural, de incompatibilidade entre materiais e de ação por agentes biológicos.

Em sistemas de fachadas revestidas com argamassa, Cincotto (1988) identificou as seguintes manifestações patológicas: eflorescência, bolor, vesículas, descolamento do reboco e fissuração.

Percebe-se que estas ocorrem na superfície dos revestimentos e têm origens variadas, podendo estar relacionadas à má qualidade dos materiais selecionados, falhas na execução e ação natural dos agentes externos sobre os sistemas construtivos. (MARQUES, 2013).

No que se refere as manifestações patológicas em pinturas, Mills (2012), Woodward (2012) e Marques (2013) detectaram que, na maioria das vezes, estas ocorrem por incompatibilidades físicas e químicas entre a película e o substrato, normalmente associadas à formulação das tintas, à preparação inadequada da superfície ou à aplicação das pinturas, comprometendo a aderência entre as camadas.

Neste sentido, a Tabela 5 descreve os problemas decorrentes da contaminação de tintas à base de água em lata.

Tabela 5 – Problemas resultantes da contaminação de tintas à base de água em lata.

| <b>Tipo de Problema</b>                           | <b>Causas Comuns</b>                                                                                              |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perda de viscosidade                              | Enzimas celulases de bactérias ou fungos que catalisam a degradação do espessante de celulose.                    |
| Alteração de pH                                   | Ácidos produzidos de processos metabólicos, típicos de bactérias anaeróbias.                                      |
| Odores                                            | Ácidos orgânicos e outros produtos metabólicos finais, como o sulfato de hidrogênio de bactérias anaeróbias.      |
| Gaseificação – Abaulamento ou rompimento de latas | CO <sub>2</sub> ou H <sub>2</sub> produzidos por bactérias anaeróbias e leveduras.                                |
| Descoloração                                      | Porções pigmentares coloridas do metabolismo de bactérias e leveduras; sulfeto de bactérias redutoras de sulfato. |
| Espuma                                            | Degradação de agentes antiespumantes por bactérias.                                                               |

Fonte: Adaptado de Woodward (2012)

Em referência aos problemas encontrados na película de tinta formada sobre o substrato, dispostos pela Tabela 6, observa-se, neste caso, a prevalência de fungos e algas como agentes causadores das manifestações patológicas, reduzindo a durabilidade e valorização estética das edificações.

Tabela 6 – Problemas detectados em películas de tintas à base de água formadas sobre os substratos.

| <b>Tipo de Problema</b>                                            | <b>Causas Comuns</b>                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Desfiguração, descoloração e sujeira depositada                    | Alga e/ou fungo; algumas bactérias crescendo no filme.                                  |
| Perda de aderência                                                 | Fungos crescendo sob a película de tinta.                                               |
| Deterioração da estrutura (de madeira)                             | Enzimas de fungos que catalisam a degradação da celulose, hemicelulose e lignocelulose. |
| Falhas de pinturas anti-incrustantes em embarcações marinhas, etc. | Bactérias, algas (incluindo diatomáceas), fungos, cracas (crustáceo marinho).           |
| Corrosão                                                           | Bactérias, como as redutoras de sulfato, e fungos iniciando a corrosão.                 |
| Destruição de patrimônios culturais                                | Bactéria, algas e fungos crescendo em pinturas, estátuas e prédios históricos.          |

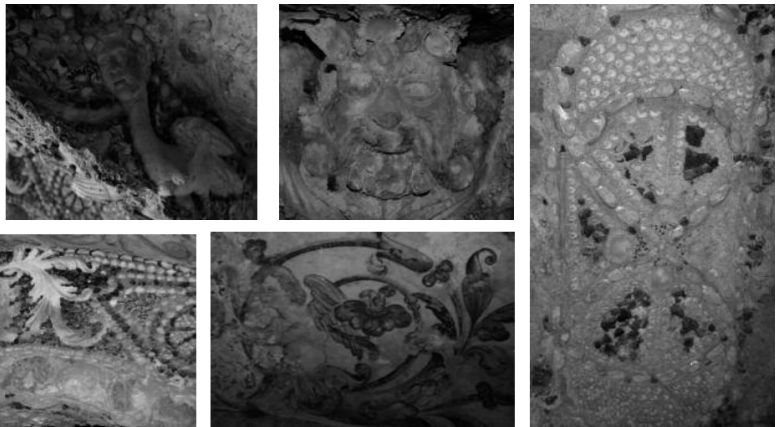
Fonte: Adaptado de Woodward (2012)

Dentre as manifestações patológicas citadas na Tabela 6, enquadram-se no escopo desta pesquisa a descoloração, desfiguração e deposição de sujeira, a perda de aderência e a destruição de patrimônios culturais. Em vista disso, a Tabela 7 possui o intuito de ilustrar cada um destes efeitos deteriorantes ocasionados pelo ataque de microrganismos, em diferentes regiões.

Tabela 7 – Efeitos da ação dos microrganismos na biodeterioração de revestimentos de fachada de edificações e patrimônios culturais.

| Edificação                                                                          | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Biodeterioração avançada da fachada sudeste de uma edificação em Recife, no estado do Pernambuco. Visualiza-se massivo biofilme causando a desfiguração das pinturas, especialmente nas regiões próximas ao solo e da platibanda. Fonte: Braga (2010, p. 106).</p>                                          |
|   | <p>Fachada lateral coberta por biofilme de coloração vermelha e verde escuro, evidenciando a presença de algas e fungos. O prédio em questão está localizado em Ponta Delgada, Região dos Açores, Portugal. Fonte: Gaylarde, Morton e Shirakawa (2011, p.1191).</p>                                            |
|  | <p>Edificação localizada na cidade de Florianópolis, com avançada biodeterioração do revestimento. Neste caso, atenta-se para a ausência de biofilme sobre a tinta azul, segundo os autores, pelo teor de cobre (conhecido biocida) em sua formulação. Fonte: Gaylarde, Morton e Shirakawa (2011, p.1194).</p> |

Continua...

| Edificação                                                                           | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | <p>Conjunto histórico do século XIX, localizado na cidade de Pelotas, com desfiguração da superfície da parede do recuo de ajardinamento pela formação de biofilme de coloração verde-escura. Fonte: Guerra (2012, p. 42).</p>                                                                                              |
|   | <p>Ação deteriorante de microrganismos sobre a Fortaleza de Santa Cruz, em Niterói, Brasil. Observa-se a biodeterioração avançada na entrada da sala aberta do piso inferior. O local possui pouca incidência solar e umidade elevada. Fonte: Ogawa <i>et al.</i> (2017, p. 165)</p>                                        |
|  | <p>Biodeterioração por fungos e bactérias nas pinturas murais da casa de Fresco de Sanches Baena, Vila Viçosa, Portugal. Apresentam formação de biofilmes, eflorescência, empolamento e outras manifestações patológicas que colocam em risco a pintura mural do século XVI. Fonte: Fialho <i>et al.</i> (2009, p. 28).</p> |



Não foram encontradas imagens evidentes do desenvolvimento fúngico na interface entre a película das tintas e o substrato, ou entre camadas de tintas, ocasionando a perda de aderência e deslocamento. Contudo, Woodward (2012) menciona tal manifestação. De fato, Shirakawa *et al.* (2002) estudaram as interfaces entre camadas, evidenciando propágulos persistentes que causaram a perda de aderência e fragmentação da película.

#### **2.4.1 Influência das Condições Ambientais na Deterioração de Pinturas**

Deve-se levar em consideração diversos fatores ambientais que influenciam na deterioração das pinturas aplicadas a revestimentos externos, em maior ou menor grau. Citam-se as condições de umidade e temperatura, incidência de chuvas, raios solares, densidade da vegetação e poluição do ar por gases industriais. (MANNARI; PATEL, 2015).

Em casos de chuvas torrenciais, aumentam-se as chances de penetração da umidade por intermédio de falhas construtivas, ocasionando manifestações patológicas variadas. A condensação de paredes externas, por sua vez, ocorre quando a temperatura da superfície atinge a temperatura de orvalho, intensificando-se durante períodos de noites frias. (GIUSEPPE, 2013).

Para Giudice e Pereyra (2009), os sistemas de fachadas mais secos, oriundos de ambientes com pouca incidência de chuvas ou protegidos por uma cobertura possuem menor propensão ao desenvolvimento de microrganismos. Em vista disso, a umidade superficial destaca-se como o principal critério de risco para a colonização de algas e fungos em fachadas. (GIUSEPPE, 2013).

Pode-se mencionar ainda, a deterioração advinda da luz solar e outros fatores atmosféricos, desencadeando a formação de processos fotoquímicos que ocasionam a calcinação, descoloração ou perda de brilho das camadas de acabamento. (MANNARI; PATEL, 2015).

Em corroboração, Braun (2012) indica que a porção de radiação ultravioleta contida nos raios solares desencadeia o processo de deterioração das tintas em função do alto conteúdo energético capaz de romper ligações químicas. O autor destaca o papel dos ligantes e pigmentos no aumento da resistência aos raios UV.

Percebe-se, em adição, que o poder de cobertura e durabilidade da matriz polimérica da película também estão relacionadas à escolha dos pigmentos,



elevando a resistência mecânica e absorção dos raios UV, motivo pelo qual retarda-se a deterioração. (GOLDSCHIMIDT; STREITBERGER, 2007; MANNARI; PATEL, 2015).

Assim, indicam-se nas ocasiões de forte degradação pela superposição de condições ambientais adversas, o uso de resinas de silicone, formando uma película impermeável sobre o substrato que dificulta a fixação dos esporos fúngicos. (GIUDICE; PEREYRA, 2009). Já as resinas de polímeros acrílicos apresentam boa resistência à hidrólise e à deterioração por raios UV. (FRIEL; NUNGESSER, 2012).

As tintas indicadas ao cobrimento de revestimentos externos obrigatoriamente devem possuir maior resistência aos raios UV, além de se comportar melhor às retrações e dilatações dos substratos e à colonização por fungos e algas. De fato, ocorre uma atuação conjunta das ações biológicas dos microrganismos e radiação UV na oxidação das películas, o que modifica as propriedades dos biocidas atuantes. (GIUDICE; PEREYRA, 2009; MARQUES, 2013).

#### **2.4.2 Biodeterioração por Fungos**

Dentre os principais mecanismos que impactam na durabilidade das edificações, destaca-se a biodeterioração, que está relacionada a mudanças indesejáveis causadas pela ação de microrganismos sobre diferentes tipos de substratos, desde que estes ofereçam condições favoráveis à sua sobrevivência, tais como: a presença de umidade, temperatura apropriada e nutrientes para sua alimentação. (VIDELA, 2003; ARTEAGA *et al.*, 2008; GIUSEPPE, 2013).

Os danos físicos ou mecânicos ocorrem quando microrganismos colonizam os substratos, promovendo a alteração das propriedades dos materiais. Estes, atuam sobretudo em pontos de fragilidade, como fissuras, normalmente acelerando o processo de deterioração. (ALSOPP; KEAL; GAYLARDE, 2004; GIUSEPPE, 2013).

Não menos importante, os danos também podem ser classificados como bioquímicos, em decorrência do consumo de compostos orgânicos como fonte de nutrientes e excreção de produtos residuais do seu metabolismo (ácidos), ou estéticos, pela formação de biofilmes de coloração escura. (GIUSEPPE, 2013).

Assim, com o passar do tempo, os microrganismos comprovaram ser capazes de produzir impactos negativos aos substratos, sobretudo naqueles que possuem alta porosidade. (GIUDICE; PEREYRA, 2009). Ademais, ao fixar suas hifas e estender-se de forma a penetrar nas superfícies, os fungos podem afetar a microestrutura do material de forma a aumentar sua porosidade, permitindo uma maior retenção de água. (GIUDICE; PEREYRA, 2009; FERRARI *et al.*, 2015).

Com base nisto, é possível dizer que a deterioração dos revestimentos está diretamente ligada à capacidade de ancoragem dos microrganismos às superfícies, ou biorreceptividade, que depende basicamente dos parâmetros de porosidade e rugosidade dos materiais. (BARBEROUSSE, 2006; GIUSEPPE, 2013; RIZZARDO, 2016).

O que foi observado por Gómez-Alarcón *et al.* (1995), e posteriormente por Gaylarde e Gaylarde (2005), é que quando se trata de superfícies pintadas, os fungos desenvolvem-se com velocidade muito maior do que organismos autotróficos pela disponibilidade do carbono orgânico em abundância. Em consequência disto, a descoloração da película de tinta iniciada pela ação metabólica dos organismos autotróficos, agrava-se pela colonização sucessiva dos heterotróficos, formando uma superposição de microrganismos. (FERRARI *et al.*, 2015).

Dada atenção especial aos fungos e seus impactos na deterioração de fachadas, ressaltam-se, de modo geral, a desfiguração pela formação de biofilme de pigmentação escura, a produção metabólica de ácidos e de substâncias quelantes e a penetração de micélios na estrutura dos materiais. (GÓMEZ-ALARCÓN *et al.*, 1995; VIDELA, 2003).

No caso dos fungos filamentosos, estes fixam-se através da formação de micélios, produzindo novos esporos sobre a superfície que devem dar origem a outras colônias. A ancoragem destes micélios é mais efetiva em pontos de fissuras ou lascamentos, o que facilita o seu crescimento na interface entre camada de tintas, ou entre a tinta e o substrato, afetando as propriedades de aderência. (BRAVERY, 1988 *apud* FERRARI *et al.*, 2015).

Cabe destacar que o sucesso na colonização de fungos em filmes de tinta é atribuído, em partes, a sua tolerância a altas temperaturas e determinada resistência a radiação UV. (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004).

Em resumo, a formação de biofilme é inevitável, requerendo de tempos em tempos a recuperação dos sistemas de fachadas.

#### 2.4.2.1 Relação entre a orientação solar e a biodeterioração de fachadas

Allsopp, Seal e Gaylarde (2004), Barberousse (2006) e Sato *et al.* (2008) apontam que as fachadas orientadas a sul recebem menor irradiação solar direta, permanecendo mais frias e úmidas ao longo do tempo, com temperaturas superficiais que podem ficar abaixo do ponto de orvalho à noite. Estas condições propiciam o crescimento fúngico acelerado.

É importante ressaltar que, estas verificações estão relacionadas a pesquisas realizadas no hemisfério sul, tendo em vista a análise de estudos de crescimento microbiano de Allsopp, Seal e Gaylarde (2004), Barberousse (2006), Gladis-Schmacka (2014), em diversos locais do continente europeu, onde as condições de exposição solar são invertidas.

Portanto, de modo geral, as pesquisas concordam entre si que as fachadas que recebem irradiação solar por períodos prolongados, especialmente em regiões quentes, induzem mais rapidamente a evaporação da água pelo aquecimento dos materiais. Nestas, há maior inibição do crescimento microbiano, mesmo dos organismos fototróficos, pela secagem superficial do substrato. Do contrário, em fachadas mais frias e úmidas, com condições de iluminação e temperatura adequadas, a colonização por microrganismos ocorre mais intensamente, deteriorando em menor tempo útil os sistemas de pinturas. (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; BARBEROUSSE, 2006; GAYLARDE *et al.*, 2011; GLADIS-SCHMACKA, 2014).

Nos estudos realizados em Belém, São Paulo e Rio Grande, as edificações apresentaram maior colonização fúngica em fachadas orientadas a sul. (SHIRAKAWA *et al.*, 2010).

Para a pesquisa de Sato *et al.* (2008), a descoloração das fachadas voltadas a sul também foi superior, justificada pelo fenômeno da condensação ocorrido nestas paredes.

Melo e Carasek (2014) identificaram uma maior predisposição aos organismos fototróficos nas fachadas voltadas à norte, orientação na qual recebia também maior incidência de chuvas direcionadas. Contudo, as fachadas sul apresentaram maior desenvolvimento fúngico, fato atribuído à pouca iluminação do local.

Por fim, Breitbach (2009) avaliou dez tintas acrílicas aplicadas em painéis de fibrocimento, identificando, na ocasião, maior manchamento ou sujeira daqueles orientados a norte, em comparação aos painéis voltados a sul. Isto, contradiz os demais estudos mencionados, e o que em princípio, verifica-se na literatura.

### **2.4.3 Formação de Biofilme**

Os biofilmes podem ser definidos como uma associação de alta densidade de células microbianas envolvidas por uma matriz de substâncias poliméricas extracelulares e nutrientes capturados, aderidos à superfície de diferentes substratos. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; GIUSEPPE, 2013).

Estas substâncias poliméricas extracelulares (EPS) são excretadas pelos próprios microrganismos principalmente como polissacarídeos, mas também, em quantidades substanciais de proteínas, lipídios, ácidos graxos e enzimas. (BEECH; GAYLARDE, 1991; SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

Schulte, Wingender e Flemming (2004) atribuem as EPS a função de unir as células e os materiais particulados por meio de coesão e auxiliar na aderência aos substratos, através da formação de uma matriz tridimensional, hidratada e de aparência gelatinosa.

A formação de biofilmes abrange um ecossistema microbiano complexo sob condições oligotróficas, isto é, em um ambiente restrito de nutrientes, promovendo uma competição entre organismos pelo consumo e sobrevivência. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; GIUSEPPE, 2013).

De modo geral, a colonização ocorre mediante transporte dos microrganismos pelo ar e pelo solo (nos casos de edificações térreas), aderindo-se às superfícies que oferecem condições favoráveis de umidade, temperatura e nutrientes (materiais orgânicos e minerais), provenientes dos materiais e restos de microrganismos mortos depositados sobre o substrato. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; FERRARI *et al.*, 2015).

Buscando compreender a sucessão das colonizações, a literatura aponta que, geralmente, elas iniciam por organismos autotróficos ancorados sobre às superfícies em um processo reversível. Ao longo do tempo, estes ancoram-se sobre os substratos por adesão celular, modificando o processo para uma condição irreversível. Nesta etapa, as células começam a viver em associação, embebidas

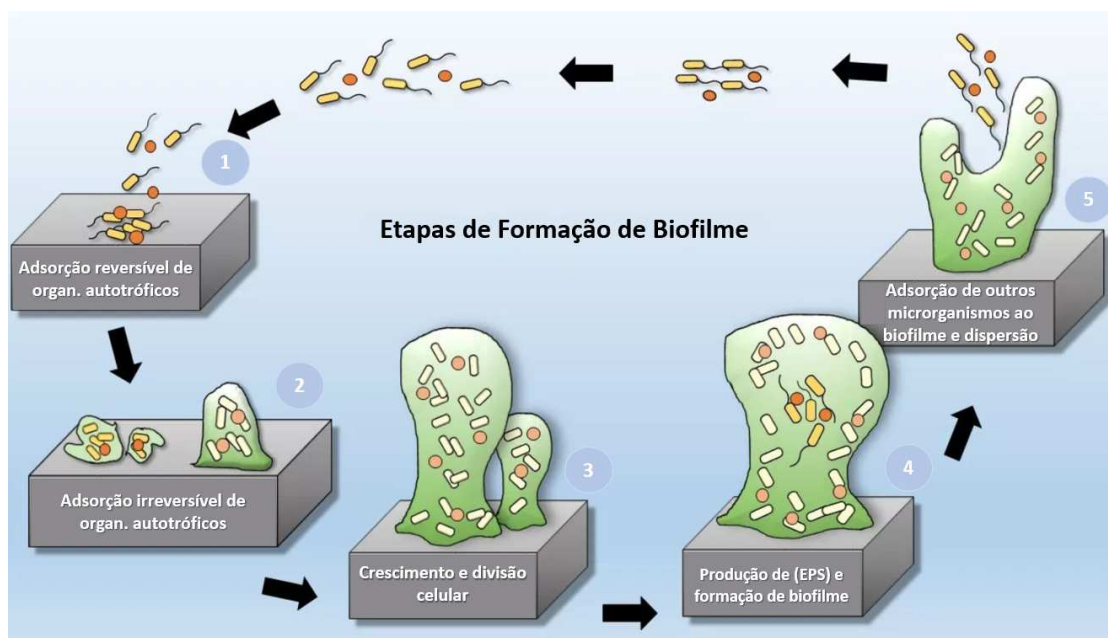
pela tal matriz orgânica de biopolímeros. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; GIUSEPPE, 2013).

Em vista disto, pode afirmar que o crescimento de bactérias é fundamental para posterior adsorção de organismos heterotróficos, que contribuem na maturação do biofilme. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; GIUSEPPE, 2013).

Allsopp, Seal e Gaylarde (2004) sugerem que, não somente as bactérias, organismos fototróficos (algas), e heterotróficos (fungos) colonizam os biofilmes maduros, mas também, protozoários, nematoides, e ácaros, que se alimentam dos microrganismos presentes, digerindo-os ou espalhando-os pela superfície.

Com o objetivo de elucidar o processo de formação de um biofilme, a Figura 4 o divide em cinco etapas distintas, que inicia pela (1) adsorção de organismos autotróficos ao substrato em um processo reversível, (2) adesão celular destes organismos tornando o processo irreversível, (3) crescimento e divisão celular, (4) produção de substâncias poliméricas extracelulares, formando um biofilme maduro, e (5) adsorção de organismos heterotróficos e destacamentos de partes do biofilme.

Figura 4 – Etapas de formação de um biofilme



Fonte: Adaptado de PERFECTUS BIOMED, 2017

A dificuldade na remoção de biofilmes maduros de superfícies é explicada pela maior resistência que estes possuem em relação aos biocidas. As características morfológicas e fisiológicas são alteradas quando os microrganismos

vivem em conjunto e envolvidos pela matriz de biopolímeros. Isto produz mecanismos de defesa que restringem a penetração dos biocidas. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

Outra possível justificativa é a interação dos biocidas com as células, ou até mesmo, com as substâncias poliméricas extracelulares dos biofilmes, podendo gerar reações químicas e a sua degradação enzimática. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

Neste sentido, consideram-se três fatores cruciais para eficácia de um biocida contra biofilmes, sendo eles: a concentração, o tempo de exposição e a temperatura. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

Entre os microrganismos presentes nestes biofilmes, identifica-se com maior frequência os fungos filamentosos, pelas características de resistência a longos períodos de seca. Além disso, tendem a ser os mais prejudiciais aos revestimentos externos pela produção de pigmentação escura. (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

O biofilme maduro possui uma espessura média que varia entre poucos micrômetros até milímetros, conferindo a superfície das pinturas uma aparência suja, com manchas de coloração majoritariamente pretas, verdes e vermelhas. Normalmente, o início da visualização destes biofilmes ocorre em um período menor do que 12 meses, modificando as condições originais dos substratos. (DUBOSC, 2000; ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004; GAYLARDE *et al.*, 2011; GIUSEPPE, 2013).

Em consequência disto, sugere-se fortemente a sua remoção periódica, mesmo que não sejam realizadas repinturas na ocasião, combinando o uso de biocidas e técnicas de hidrojateamento. Para tanto, aplica-se um biocida leve ou hipoclorito de sódio para desinfecção e remoção das populações microbianas, auxiliando ainda na prevenção contra o crescimento durante o período de secagem. (ALLSOPP; SEAL; GAYLARDE, 2004; RAVIKUMAR, *et al.*, 2012).

Análises consideradas por Schulte, Wingender e Flemming (2004) sugerem que o uso do hipoclorito de sódio em concentração de 0,5%, agindo durante 60 minutos sobre o substrato foi suficiente para inativação completa de biofilme de cultura mista. O resultado foi igual para uma concentração de 2% durante 10 minutos. Os ensaios mostraram ainda que, a aplicação do hipoclorito de sódio em concentração de 1%, auxiliou de forma efetiva no descolamento dos biofilmes. Em

corroboração, Allsopp, Seal e Gaylarde (2004), sugerem que a utilização do hipoclorito de sódio em concentração de 2% a 2,5% durante 15 minutos, representou uma eficiência aproximada de 98% na remoção de microrganismos, em revestimentos de fachadas externas.

#### 2.4.3.1 Morfologia das superfícies

Com relação a análise morfológica das superfícies, especialmente no que se refere à sua influência na biodeterioração de sistemas construtivos, é importante novamente conceituar a biorreceptividade. Basicamente, materiais biorreceptivos permitem a fixação dos microrganismos em sua superfície, devido a uma série de características. (BARBEROUSSE, 2006; GIUSEPPE, 2013; FERRARI *et al.*, 2015; RIZZARDO, 2016). Os pioneiros, ou colonizadores, encontram sucesso na colonização de superfícies porosas e rugosas, pois estas facilitam sua ancoragem e retêm umidade em sua superfície, criando condições adequadas. A rugosidade dos substratos, portanto, é um fator determinante para a formação de biofilmes. (GIUDICE; PEREYRA, 2009; FERRARI *et al.*, 2015, RIZZARDO, 2016).

Lapa (2008) e Wiktor *et al.* (2009) qualificam os materiais à base de cimento como porosos, retentores de umidade, de superfície rugosa e com substâncias orgânicas em sua composição química, o que caracteriza uma alta biorreceptividade.

Em complemento, Giuseppe (2013) menciona a análise de duas argamassas de diferentes porosidades, sendo possível observar maior colonização por microrganismos nas superfícies mais porosas, em corroboração com a literatura.

Rizzardo (2016), por sua vez, avaliou o ataque microbiológico às estruturas de concreto, concluindo que quanto maior for a rugosidade e a porosidade do substrato, maior também será a tendência de colonização por microrganismos.

## 2.5 MICROBIOLOGIA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL

Microrganismos, no sentido do escopo deste trabalho, referem-se às bactérias, leveduras, fungos filamentosos, algas e líquens, presentes em biofilmes formados sobre as superfícies dos sistemas de fachadas.

O estudo destes organismos relaciona-se com o aprofundamento em seus diversos aspectos físicos, químicos e biológicos, conhecendo suas estruturas, modo de nutrição e reprodução, entre outros. (PELCZAR; CHAN; KRIEG, 1996).

Estes microrganismos atuam em processos ecológicos de fundamental importância na natureza, como por exemplo, na decomposição da matéria orgânica, fotossíntese, ciclos biogeoquímicos, etc. (MANFIO, 2003; SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

Neste sentido, para que possam sintetizar novas células, necessitam de compostos orgânicos como fonte de energia. Citam-se como elementos indispensáveis o hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e carbono, sendo este último o mais abundante em suas células, obtido pelo dióxido de carbono ou pela decomposição da matéria orgânica. (VIDELA, 2003).

Ainda segundo Videla (2003), os microrganismos podem ser aeróbios ou anaeróbios, conforme a necessidade, ou não, de oxigênio dissolvido em seu metabolismo. Existem ainda, os “facultativos”, capazes de se desenvolver em ambos os ambientes, com ou sem a presença de oxigênio.

Quanto ao funcionamento do metabolismo microbiano, pode-se dizer que ocorrem dois processos simultaneamente, o de degradação (fornecimento de energia ao organismo), e o de assimilação (sintetização de novo material celular). (VIDELA, 2003).

Estas atividades metabólicas dos microrganismos têm a capacidade de danificar e alterar as propriedades dos substratos nos quais estão depositados, devido a produção de substâncias poliméricas extracelulares (EPS), liberação de compostos quelantes e ácidos (orgânicos e inorgânicos), e pigmentação colorida. (PELCZAR, 1981; GIUSEPPE, 2013).

Sabendo, portanto, que microrganismos requerem fontes nutritivas para obtenção de energia, utiliza-se em laboratório meios de culturas específicos, além do controle de umidade e temperatura que garantem condições físico-químicas necessárias para seu desenvolvimento em um processo acelerado. Estes meios de cultura podem ser classificados quanto a sua composição (sintéticos ou complexos), a sua consistência (líquido, semi-sólido ou sólido), a sua preparação (pronto para uso, desidratado ou formulado), e sua função (transporte, manutenção, ressuscitação, enriquecimento, plaqueamento ou identificação). (RIBEIRO; STELATO, 2011).



Allsopp, Seal e Gaylarde (2004) sugerem para amostragem de biofilmes, uma variedade de técnicas possíveis, descrevendo ainda comentários a respeito de cada uma delas (Tabela 8). Ressalta-se, a importância da esterilização de todas as ferramentas e equipamentos utilizados para garantia de resultados fidedignos.

Tabela 8 – Métodos variados de amostragem de microrganismos em biofilmes

| <b>Método</b>                            | <b>Exemplo Práticos de Amostragens</b>          | <b>Comentários</b>                                                                                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Esfregar com “Swab” de algodão           | Preparação de alimentos e superfícies em geral. | Difícil de manter um padrão. Coleta somente uma fração de microrganismos. Alguns “Swabs” são inibitórios. |
| Raspagem com material estéril            | Óleodutos e materiais minerais.                 | Mais eficientes que os <i>swabs</i> , contudo, materiais estranhos também podem ser coletados.            |
| Lavagem (agitação em líquido).           | Fábricas e amostras não solúveis.               | Um surfactante que não é antimicrobiano pode estar incluso na água da lavagem.                            |
| Placa de contato                         | Superfícies de edificações e papel              | Permite o arranjo espacial dentro do biofilme a ser mantido. É indicado somente para biofilmes finos.     |
| Fita adesiva                             | Vidros e materiais de construção.               | Apresentam maior eficiência na remoção de células da superfície. A fita deve ser não inibitória.          |
| Coleta do substrato com biofilme intacto | Filmes de tintas e seções de tubulações         | Indicado em qualquer coleta microbiológica, mas pode danificar o material.                                |

Fonte: Adaptado de Allsopp, Seal e Gaylarde (2004)

Atualmente, aplicam-se técnicas de identificação molecular com análises de DNA, garantindo identificações confiáveis, inclusive de microrganismos não cultiváveis, reduzindo consideravelmente os tempos dispendidos para detecção. No entanto, os custos para realização destes procedimentos ainda inviabilizam, em alguns casos, o seu uso. Quando pretende-se obter a abundância a nível de gênero, por exemplo, é possível aplicar técnicas tradicionais de preparação de lâminas com suspensão de corantes e realizar análises em microscópio ótico, mesmo que sejam estas, técnicas obsoletas. (PELCZAR; CHAN; KRIEG, 1996; SAAD *et al.*, 2001).

### 2.5.1 Fungos

Os fungos são microrganismos eucarióticos, heterotróficos, com parede celular espessa, e ausência de clorofila. Eucarióticos, porque possuem núcleo definido e protegido por envoltório nuclear, e heterotróficos, por serem incapazes de realizar a fixação de nutrientes através de fotossíntese, dependendo de outros organismos (autotróficos). (LACAZ *et al.*, 1998; VIDELA, 2003; GIUDICE; PEREYRA, 2009).

De forma geral, as condições que favorecem seu desenvolvimento são fontes de carbono, nitrogênio e hidrogênio, umidade relativa acima de 60%, temperatura ideal entre 20°C e 35°C (maioria são mesófilos) e pH na faixa de 4,5 a 6,5, embora existam variadas espécies que sobrevivam em diferentes faixas de temperatura e condições alcalinas. Dividem-se em dois tipos morfológicos: os unicelulares, ou leveduras, e pluricelulares, comumente chamados de bolores ou fungos filamentosos. Todos os fungos filamentosos são aeróbicos, entretanto, as leveduras podem ser aeróbicas ou anaeróbicas. (RIBEIRO; STELATO, 2011; WOODWARD, 2012; MANNARI; PATEL, 2015).

Resumidamente, os fungos metabolizam a matéria orgânica excretada por organismos fototróficos, e conjuntamente com a água (que tem a função de realizar a difusão de nutrientes em suas células), liberam enzimas, ácidos orgânicos e inorgânicos que acabam contribuindo negativamente para desfiguração de revestimentos. (GAYLARDE; MORTON, 2002).

Sendo assim, pode-se dizer que possuem a capacidade de deteriorar os substratos por meio de ações químicas e mecânicas. Químicas por meio da solubilização de compostos dos materiais e produção de ácidos orgânicos, e

mecânicas, pela penetração dos micélios e esporos em materiais absorventes. (GIUDICE; PEREYRA, 2009).

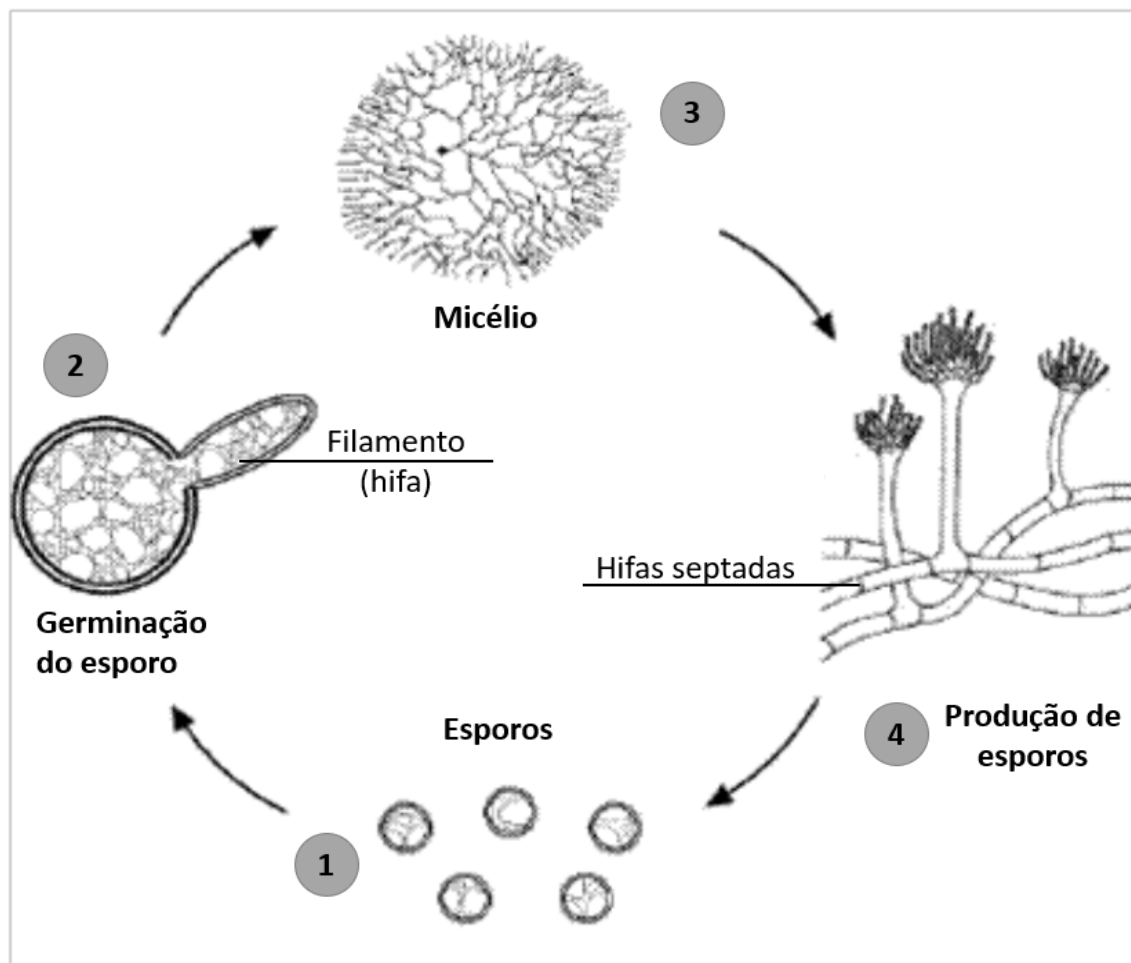
Os fungos são excelentes decompositores (sapróbios), reproduzem-se em ciclos assexuais, sexuais e parassexuais e podem resistir a grandes variações de temperatura. (LACAZ *et al.*, 1998; GIUDICE; PEREYRA, 2009).

Basicamente, o vento age como o principal dispersor de propágulos e fragmentos de hifa, depositando-os sobre substratos que, sob condições adequadas de temperatura e umidade, propiciam a germinação de esporos, dando origem a uma primeira hifa, e desta, subsequentemente, as ramificações (que constituem o micélio). (GIUDICE; PEREYRA, 2009).

Os fungos filamentosos estruturalmente apresentam ramos denominados micélios, compostos por um conjunto de filamentos (hifas). As hifas podem ser septadas, com parede transversal, ou não septadas, com paredes contínuas. O micélio pode ser vegetativo ou reprodutor. No vegetativo, analisa-se a hifa, suas características e estrutura, no reprodutor, por sua vez, analisa-se a origem e as características dos esporos. (LACAZ *et al.*, 1998; VIDELA, 2003; RIBEIRO; STELATO, 2011).

A Figura 5 apresenta as diferentes etapas do ciclo de reprodução assexuada de fungos filamentosos, sendo: (1) esporos dispersos pelo ar; (2) germinação do esporo sobre o substrato e desenvolvimento do filamento; (3) micélio formado pela conjunto de hifas ramificadas; (4) formação da estrutura reprodutora capaz de produzir novos esporos (no caso em específico, conídios).

Figura 5 – Etapas do ciclo de reprodução assexuada de fungos filamentosos



Fonte: Adaptado de Environmental Contrating Restoration (2012) *apud* Guerra *et al.* (2012, p.9)

Em continuidade a abordagem dos fungos, de acordo com as bibliografias de Lacaz *et al.* (1998), Gimenes (2010) e Macedo (2017), descreve-se a respeito dos quatro principais filos conhecidos atualmente dentro do Reino Fungi. São eles, o Chytridiomycota, Zigomycota, Ascomycota e Basidiomycota. A classificação dos fungos baseia-se, fundamentalmente, pela característica dos esporos. Neste sentido, citam-se as características específicas dos grupos relacionados a estes filos, respectivamente, segundo descrição dos autores anteriormente citados:

- Quitridiomycetos: fungos predominantemente aquáticos, unicelulares ou multicelulares de hifas cenocíticas (não septadas), que produz esporos flagelados (zoósporos), podendo ser sapróbios (decompositores) ou parasitas;

- Zigomicetos: fungos predominantemente terrestres, multicelulares de hifas cenocíticas (não septadas), que formam zigósporos (produto da reprodução sexuada), podendo ser sapróbios, parasitas ou mutualistas (associação mutuamente vantajosa);
- Ascomicetos: reúnem o maior número de espécies dentre os fungos, sendo unicelulares ou multicelulares de hifas septadas, produzindo esporos (ascósporos) em esporângios específicos conhecidos como ascos, podendo ser sapróbios ou parasitas;
- Basidiomicetos: formam corpos de frutificação (basidiomas), sendo unicelulares ou multicelulares de hifas septadas, de reprodução sexuada e assexuada, que formam esporos conhecidos como basidiósporos, podendo ser sapróbios, parasitas e micorrízicos (associação mutualística do tipo simbiótico).

#### 2.5.1.1 Principais gêneros de fungos responsáveis pela deterioração de sistemas de fachadas de edificações

Os diversos estudos mencionados cronologicamente auxiliaram no aprofundamento a respeito dos principais gêneros de fungos que causam a deterioração de revestimentos externos.

Gaylarde e Morton (1999), e posteriormente, Ferrari *et al.* (2015) através de uma revisão literária, indicaram os gêneros de fungos encontrados com maior incidência em tintas e concreto e rocha, conforme pode ser observado na Tabela 9. Os gêneros identificados em ambos os materiais estão destacados.

Tabela 9 – Fungos identificados em biofilmes formados sobre superfícies de materiais de construção

| Material             | Fungo (Gênero)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Referência                                                                                                                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Concreto e Rocha     | <i>Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Botrytis, Candida, Capnodiales, Cladosporium, Conisporium, Coniothyrium, Cryptococcus, Curvularia, Epicoccum, Exophiala, Fusarium, Geotrichum, Hypocreales, Mycocalicum, Mucor, Paecilomyces, Penicillium, Phialophora, Phoma, Sarcinomyces, Sporobolomyces, Taeniolaella, Trichoderma, Udeniomyces, Ulocladium, Verticillium.</i> | Gu <i>et al.</i> (1998), Hirsch <i>et al.</i> (1995), May <i>et al.</i> (1993), Sterflinger <i>et al.</i> (2001), Giannantonio <i>et al.</i> (2009). |
|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                      |
| Superfícies pintadas | <i>Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Acremonium (Cephalosporium), Cladosporium, Curvularia, Epicoccum, Exophiala, Fusarium, Helminthosporium, Monascus, Mucor, Nigrospora, Pestalotia, Penicillium, Pestalotiopsis, Stachybotrys, Stemphyllium, Trametes, Trichoderma, Tripospermum, Ulocladium, Verticillium.</i>                                                      | John (1988), Bravery (1998), Shirakawa (2002).                                                                                                       |

Fonte: Adaptado de Gaylarde e Morton (1999) e Ferrari *et al.* (2015).

Shirakawa *et al.* (2002), analisaram as interfaces entre o substrato e a película de tinta (substrato/tinta) e entre as camadas da película existente e a película após repintura (tinta velha/tinta nova) de duas edificações, identificando nas condições iniciais, previamente a repintura, os gêneros *Cladosporium* e *Aureobasidium* como principais fungos presentes no biofilme formado sobre o revestimento. Decorridos sete dias após aplicação de nova camada de pintura, detectou-se os seguintes gêneros: *Aspergillus, Cladosporium, Alternaria, Aureobasidium, Helminthosporium, Monascus, Nigrospora, Phoma, Tripospermum* e *Cladosporium*, identificando em acréscimo, ao longo do tempo, fungos do gênero *Curvularia* e *Fusarium*.

Neste mesmo estudo, observou-se que o clima tropical e subtropical favoreceu o crescimento de fungos do gênero *Nigrospora*, *Curvularia* e *Pestalotia*, e que ainda, nos meses de verão, o desenvolvimento dos gêneros *Aureobasidium*, *Epicoccum* e *Helminthosporium* foram afetados. (SHIRAKAWA *et al.*, 2002).

Mezzari *et al.* (2002) realizaram a coleta de 52 amostras de esporos suspensos no ar na cidade de Porto Alegre, durante aproximadamente 11 meses, identificando fungos do gênero *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Helminthosporium*, *Alternaria*, *Curvularia*, *Nigrospora* e *Fusarium*. A maior quantidade de esporos foi constatada durante os meses de verão.

Schulte, Wingender e Flemming (2004) também verificaram análises de esporos fúngicos contidos em amostragens de ar em diferentes locais do mundo, identificando com maior frequência os gêneros: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Ulocladium*, *Epicoccum*, *Aureobasidium*, *Aspergillus*, *Phoma*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Stemphylium*, *Rhizopus* e *Fusarium*. Os autores concluíram ainda que, não coincidentemente, estes gêneros são aqueles normalmente isolados em revestimentos externos, devido a relativa produção de esporos e resistência aos raios ultravioleta. (SCHULTE; WINGENDER; FLEMMING, 2004).

No mesmo ano, Menezes *et al.* (2004) realizaram um estudo de 12 meses, analisando 520 placas de Petri expostas em 10 pontos distintos da cidade de Fortaleza. No estudo, os gêneros de fungos predominantes foram: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Curvularia*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Drechslera*, *Alternaria*, *Abidia* e *Mycelia sterilia*. Os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* e *Mycelia sterilia* foram identificados em todos os meses do ano, sendo os dois primeiros, predominantes nas cidades de Fortaleza, Recife e Natal.

Além disso, destaca-se que o gênero *Cladosporium*, apesar de isolado em todas as coletas, apresentou aumento na abundância de colônias em meses secos. Em discrepância, Menezes *et al.* (2004) citam as pesquisas de Purchio *et al.* (1984) e Purchio, Gambale e Paula (1989) nos quais foram observados o predomínio de *Cladosporium* durante os meses frios.

De modo comparativo, pode-se dizer que os gêneros encontrados em Fortaleza por Menezes *et al.* (2004), e por Mezzari *et al.* (2002) em Porto Alegre foram bastante semelhantes, mesmo com as diferenças entre os climas das regiões Nordeste e Sul.

Silva (2009) realizou a análise da biodeterioração de tintas látex com e sem aditivos biocidas, na cidade de Santa Maria, identificando fungos do gênero *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Epicoccum*, *Phoma*, *Aureobasidium*, *Ulocladium* e *Nigrospora*. Os gêneros predominantes durante o período da pesquisa foram *Penicillium* e *Cladosporium*, sendo o último, presente em todas as estações do ano. Com relação a este gênero, Shirakawa *et al.* (2010) também o apontou como principal agente na deterioração de biofilmes formado sobre pinturas nas cidades de Belém, São Paulo e Rio Grande, durante 4 anos de avaliação.

No âmbito internacional, Aina *et al.* (2011) avaliou a superfície de pinturas de diferentes construções na escola politécnica de Kaduna, no noroeste da Nigéria, identificando, na ocasião, os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Mucor*, *Acremonium* (*Cephalosporium*), *Absidia*, *Neurospora*, *Monilia*, *Trichoderma*, *Botrytis*, *Helminthosporium* e *Cladosporium*.

Em complemento, Abdel-Rahim *et al.* (2018) isolaram 27 espécies de fungos contaminantes do ar em 11 unidades médicas de um hospital localizado na Universidade de Assiut, no Egito. Espécies de fungos do gênero *Aspergillus* foram os predominantes na contaminação de ambientes fechados, seguidos *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp. e *Mucor* sp. Os estudos colaboraram na ratificação da relação entre os fungos que contaminam o ar (esporos fúngicos suspensos) e os que deterioram as películas das tintas.

Diante dos resultados mencionados, conjuntamente aos gêneros de fungos identificados nesta pesquisa, serão descritas as principais características dos fungos de interesse, sendo eles: *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Acremonium* sp., *Beauveria* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp., *Cladophialophora* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Nigrospora* sp., *Penicillium* sp., *Tripaspermum* sp. e *Mycelia sterilia*, com base nas descrições de Lacaz *et al.* (1998), Ellis e Kidd (1998), Shirakawa *et al.* (2002), Magyar *et al.* (2005), Balaram (2009), Yuri (2010), Ligozzi *et al.* (2014), Fagundes (2014), Madrid *et al.* (2014), Tomé e Marques (2016), INSPQ (2016), Wang *et al.* (2017), Abdel-Rahim *et al.* (2018) e Ward (2018).

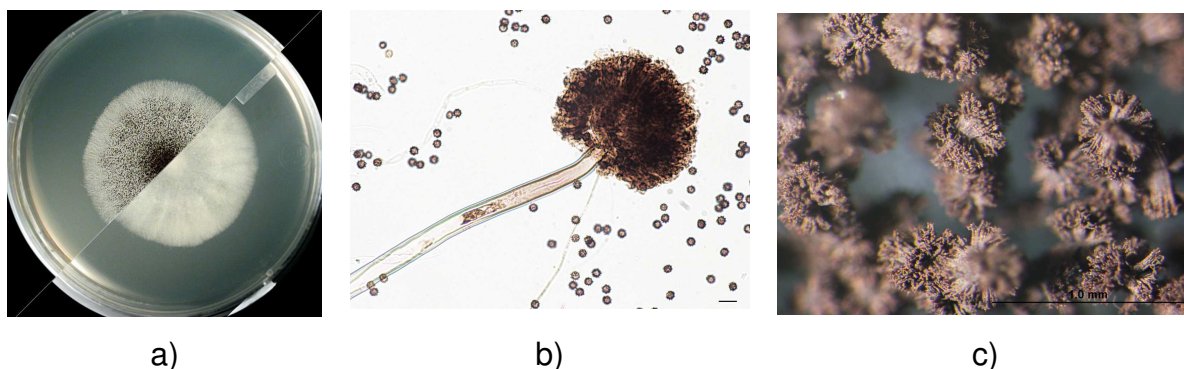


#### 2.5.1.1.1 *Aspergillus* sp.

Os fungos do gênero *Aspergillus* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que, de forma geral, apresentam crescimento rápido das colônias, de aparência velutina ou feltrada, com temperatura ideal de desenvolvimento entre 20°C e 40°C. As colônias possuem colorações distintas em função das mais de 200 espécies, variando, dentre as mais conhecidas em brancas, amarelas, castanho-amareladas, tons de verde, verde-escuro e preto (superfície do *A. niger*, por exemplo). A morfologia microscópica exhibe hifas septadas e hialinas, na maioria das vezes, conidióforos, vesículas globosas, fiálides e conídios hialinos ou pigmentados. São encontrados no solo, material vegetal em decomposição, em matérias orgânicas e até em ambientes marinhos, preferindo, no entanto, solos secos e ambientes quentes. Algumas das principais espécies são: *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. terreus* e *A. versicolor*.

A espécie de *A. niger* (Figura 6) é uma das mais comuns na natureza, com crescimento favorável em ambientes bastante úmidos, resistindo a temperaturas relativamente altas e pH baixo. Podem causar doenças humanas oportunistas, assim como a maioria das espécies do gênero, especialmente pela quantidade de esporos em suspensão no ar. Encontram-se em áreas residenciais, desenvolvendo-se em materiais de construção e sistemas de ventilação.

Figura 6 – Fungos do gênero *Aspergillus*. a) colônia de *A. niger*. b) microscopia de *A. niger*. c) estereomicroscopia de *A. niger*.



Fonte: INSPQ (2016)

### 2.5.1.1.2 *Alternaria* sp.

Os fungos do gênero *Alternaria* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento e amadurecimento rápido (entre 5 e 7 dias), de colônias planas, fofas a lanosas a medida em que envelhecem, de maioria em colorações acinzentadas a pretas, pretas esverdeadas ou marrom-oliva de bordas claras. Normalmente, o lado reverso da colônia possui cores marrons a pretas devido a produção de pigmentos. A temperatura de desenvolvimento varia entre 2°C e 32°C (ideal entre 25°C a 28°C) e pH de 2,7 a 8 (ideal entre 4 a 5,4). A morfologia microscópica exhibe hifas septadas e escuras, conidióforos lisos e septados, conídios simples ou ramificados, muriformes, oblongos, com uma célula apical alongada semelhante a um bico, lisos ou verrucosos. São encontrados no solo, plantas e alimentos, sendo excelentes agentes de decomposição de material vegetal. Ainda, considerados colonizadores secundários, desenvolvendo-se em diversos materiais de construções, tais como paredes, tetos, pinturas e sistemas de ventilação.

A espécie mais comum é o *A. alternata* (Figura 7), sendo oportunistas por excelência, especialmente pela quantidade de esporos em suspensão no ar, causando, sobretudo, doenças alérgicas.

Figura 7 – Fungos do gênero *Alternaria*. a) colônia de *A. alternata*. (b) microscopia de *A. alternata*. (c) colonização de *A. alternata* em amostra de forro.



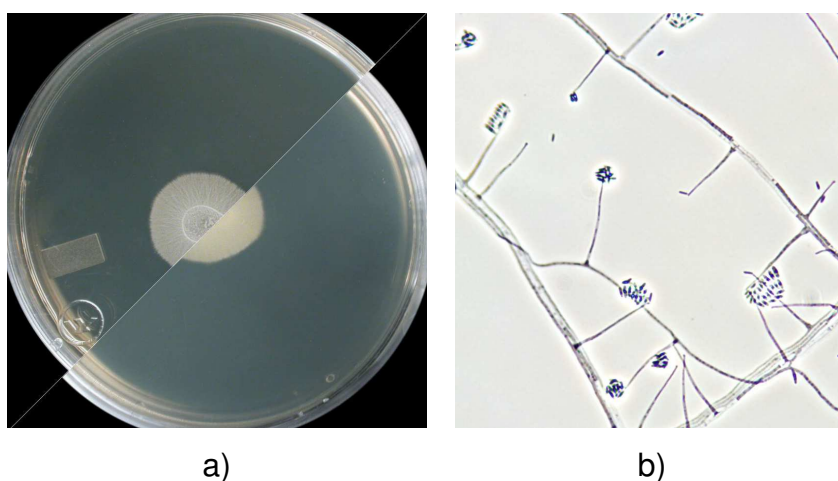
Fonte: INSPQ (2016)

### 2.5.1.1.3 *Acremonium* sp.

Os fungos do gênero *Acremonium* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que possuem crescimento médio a lento, aparentemente úmidos nos estágios iniciais, tornando-se pulverulentos, semelhantes a camurça, cobertos de hifas soltas. Suas colônias podem ser brancas, cinzas, creme, violeta ou laranja, apresentando no lado reverso colorações violáceas. O gênero *Acremonium* requer condições de substratos muito molhados, normalmente materiais de construção de maior porosidade. A temperatura ideal de crescimento varia em torno dos 25°C, não se desenvolvendo acima dos 37°C. A morfologia microscópica exhibe hifas septadas e hialinas, conidióforos de paredes lisas, conídios hialinos, unicelulares, retos, oblongos ou cilíndricos, principalmente agregados ao ápice de suas fiáldes. A maioria é saprófita, isolada de vegetais mortos, solos e alguns casos, também podem ser encontrados em alimentos. Espécies deste fungo como *A. recifei*, *A. falciforme*, *A. kiliense* e *A. alabamense* são reconhecidas como patogênicas oportunistas do homem e dos animais.

Em estudos de amostragens do ar, o gênero *Acremonium* (Figura 8) geralmente apresenta-se em pequenas concentrações, de ocorrência bastante baixa. Em edificações são normalmente encontrados em revestimentos bastante úmidos, sistemas de ventilação e aquecimento e em vedações de janelas.

Figura 8 – Fungos do gênero *Acremonium*. a) colônia de *Acremonium* sp. b) microscopia de *Acremonium* sp.



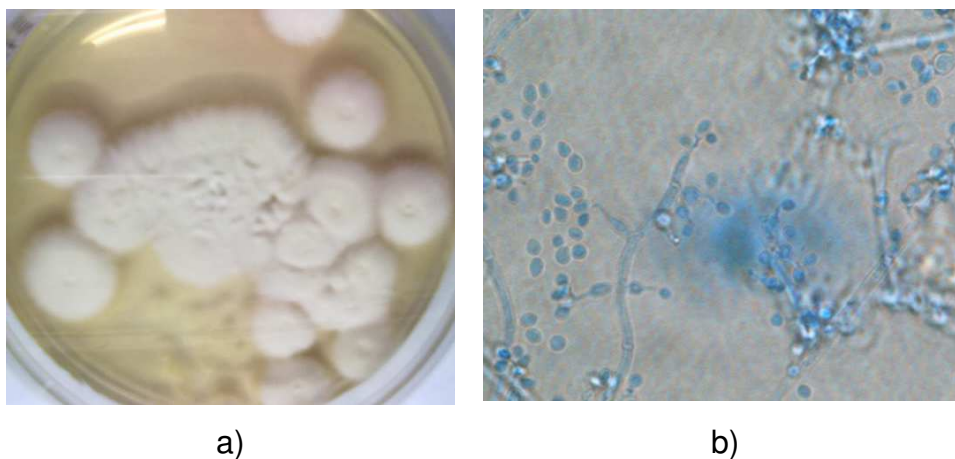
Fonte: INSPQ (2016)

#### 2.5.1.1.4 *Beauveria* sp.

Os fungos do gênero *Beauveria* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que possuem crescimento lento, geralmente não excedendo 2 centímetros aos 20°C, com textura aveludada, pulverulenta a algodonosa, de colorações brancas, que podem assumir tons amarelados com o passar do tempo. O reverso da colônia apresenta cor pálida não descrita. A morfologia microscópica exibe hifas septadas, células conidiogênicas em forma de frasco, frequentemente agregadas em esporodóquio ou sinêmio, com conídios hialinos, unicelulares, globosos a ovais, que se desenvolvem em ramificações geniculadas ou em zigzeugue.

A espécie *B.bassiana* (Figura 9) é a mais comum dentre os fungos deste gênero, conhecida por ser o agente causal da doença muscardina em “bichos-da-seda”. Além disso, cabe salientar que raramente são isoladas de materiais clínicos.

Figura 9 – Fungos do gênero *Beauveria*. a) colônia de *B. bassiana*. b) microscopia de *B.bassiana*.



Fonte: Ligozzi *et al.* (2014)

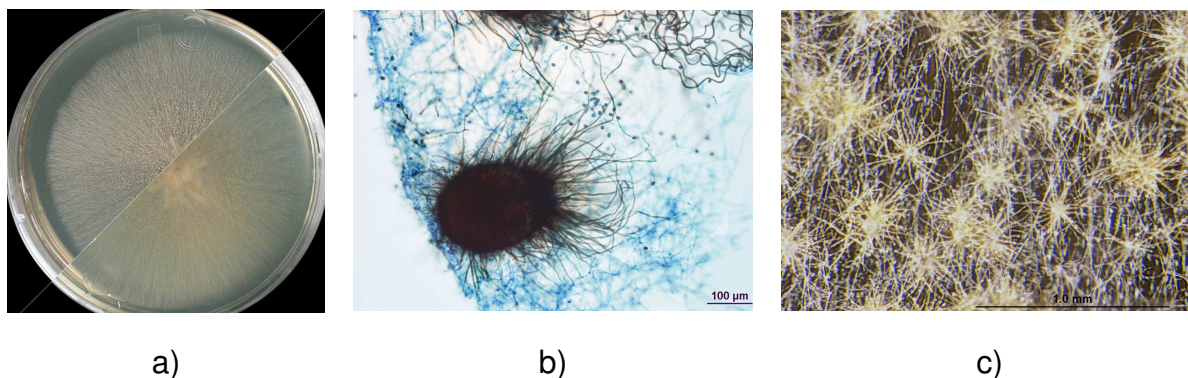


#### 2.5.1.1.5 *Chaetomium* sp.

Os fungos do gênero *Chaetomium* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento moderado, necessitando de 8 a 20 dias para esporulação e formação do corpo de frutificação. As colônias têm aparência algodonosa, geralmente branca, tornando-se cinza-oliva ou cinza-violácea. O reverso normalmente tem cor alaranjada a vermelho, ou marrom a preta. As espécies de *Chaetomium* crescem bem entre 16°C e 25°C, contudo, a temperatura ideal de crescimento varia entre 25°C e 35°C. Desenvolvem-se em uma variação de pH entre 3,5 e 11. A morfologia microscópica exhibe hifas septadas e hialinas, peritécios escuros subglobosos ou em forma de frasco, com apêndices septados terminais retos na porção inferior e espiralados na porção superior. Os ascos são clavados a cilíndricos, liberando ascósporos unicelulares, marrom-claros e em formato de limão. Os ascósporos são muito resistentes às condições de seca e raios ultravioletas. São saprófitos encontrados no solo, ar, esterco e restos de plantas.

A espécie mais comum reconhecida é *C. globosum*. Fungos do gênero *Chaetomium* (Figura 10) são amplamente distribuídos no ar, apesar de não possuírem altas concentrações de esporos suspensos. Nos materiais de construção, buscam edificações deterioradas e de umidade alta. Por fim, raros são os casos em que foram reportadas patologias em seres humanos, sendo, na ocasião, lesões cutâneas, cerebrais e peritonite.

Figura 10 – Fungos do gênero *Chaetomium*. a) colônia de *Chaetomium* sp. b) Microscopia de *Chaetomium* sp. c) estereomicroscopia de *Chaetomium* sp.



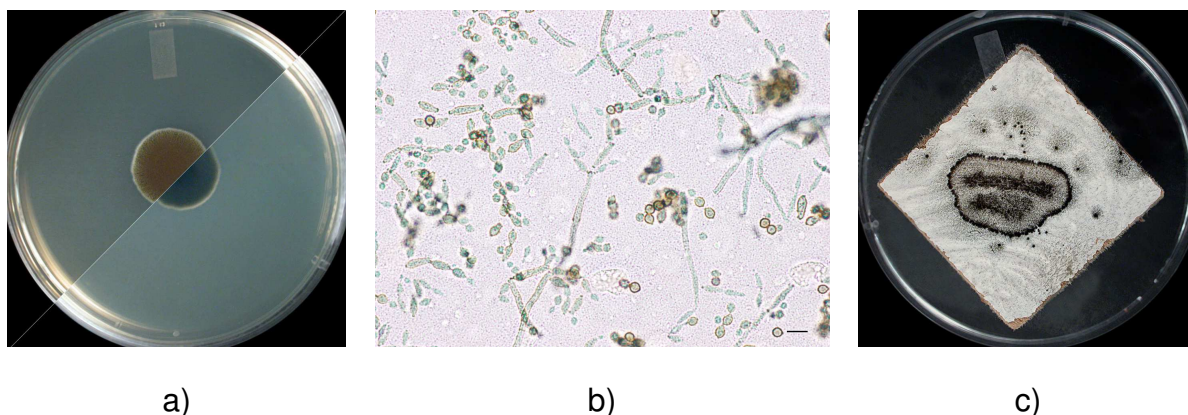
Fonte: INSPQ (2016)

#### 2.5.1.1.6 *Cladosporium* sp.

Os fungos do gênero *Cladosporium* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento lento, de colônias baixas, densas, tornando-se pulverulentas ou aveludadas devido a abundância de conídios. A maioria das colônias possuem colorações verde-oliváceo a marrom-oliváceo, mas encontram-se também em castanho enegrecido, cinza, laranja e marrom. O reverso da colônia é normalmente preto-esverdeado. Desenvolvem-se em temperaturas ideais entre 18°C e 28°C, no entanto, certas espécies mantêm crescimento inclusive abaixo de 0°C, mas não acima dos 37°C. A morfologia microscópica exhibe hifas septadas pigmentadas, conidióforos pigmentados e eretos, retos ou flexuosos, não ramificados ou ramificados somente na região apical e conídios blásticos, ovais ou em forma de limão, de tamanhos uniformes, produzidos em cadeias ramificadas que se desarticulam rapidamente. São encontradas em diferentes tipos de solo, vegetais mortos e materiais de construção.

Algumas das principais espécies são: *C. cladosporioides* (Figura 11), *C. herbarum*, *C. oxysporum* e *C. sphaerospermum*. Este fungo é frequentemente isolado em amostragens de ar, sendo a maioria das espécies predominantes em regiões tropicais e subtropicais. Especificamente nas edificações são isolados do ar, alimentos e tintas. Apesar disso, encontram-se em concentrações no ar mais baixas em ambientes internos, quando comparados aos externos.

Figura 11 – Fungos do gênero *Cladosporium*. a) colônia de *C. cladosporioides*. b) microscopia de *C. cladosporioides*. c) colônias de *C. cladosporioides* em amostra de forro.



Fonte: INSPQ (2016)

#### 2.5.1.1.7 *Cladophialophora* sp.

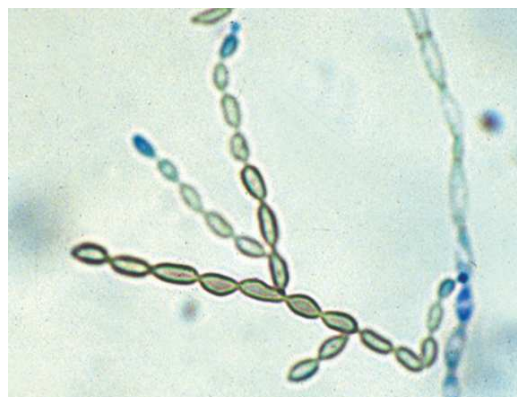
Os fungos do gênero *Cladophialophora* (Figura 12) pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento lento, de colônias pulverulentas ou aveludadas, de colorações verde-oliva a preto, com reverso preto-oliváceo. Crescem relativamente bem em temperaturas mais altas, com máximas variando entre 35°C e 42°C. A morfologia microscópica exhibe conídios formados em cadeias acrópetas, unicelulares, castanho claros, de paredes lisas, fusiformes ou com formato de limão. Na extremidade dos conídios podem ser identificadas cicatrizes.

Algumas das espécies existentes podem estar associadas a lesões pulmonares, abscessos cerebrais em imunocompetentes e imunocomprometidos e lesões subcutâneas.

Figura 12 – Fungos do gênero *Cladophialophora*. a) colônia de *C. bantiana*. b) microscopia de *C. bantiana*.



a)



b)

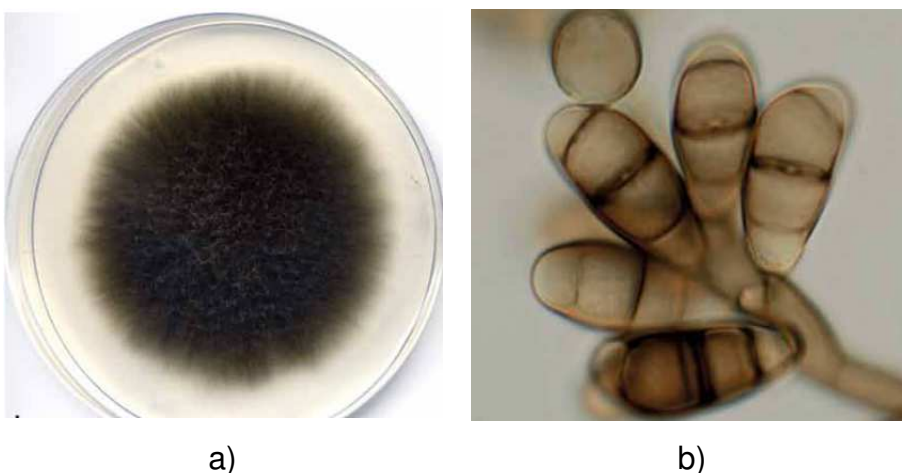
Fonte: Ellis e Kidd (1998)

#### 2.5.1.1.8 *Curvularia* sp.

Os fungos do gênero *Curvularia* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento rápido, de colônias que possuem aparência de camurça a felpudas, colorações escuras, acinzentadas e cinza-marrons, com reverso preto. Crescem relativamente bem em temperaturas entre 25°C e 30°C. A morfologia microscópica exhibe hifas septadas, conidióforos retos ou

flexionados, septados, frequentemente geniculados, com conídios elipsoidais, curvos, arredondados nas extremidades, apresentando normalmente quatro septos em tons variados de marrom. São em sua maioria decompositores de solo ou patógenos de plantas, sendo a espécie *C. lunata* a mais frequentemente relatada. Além desta, existem outras espécies comuns como *C. chlamidospora*, apresentada pela Figura 13.

Figura 13 – Fungos do gênero *Curvularia*. a) colônia de *C. chlamidospora*. b) microscopia de *C. chlamidospora*.



Fonte: Madrid *et al.* (2014)

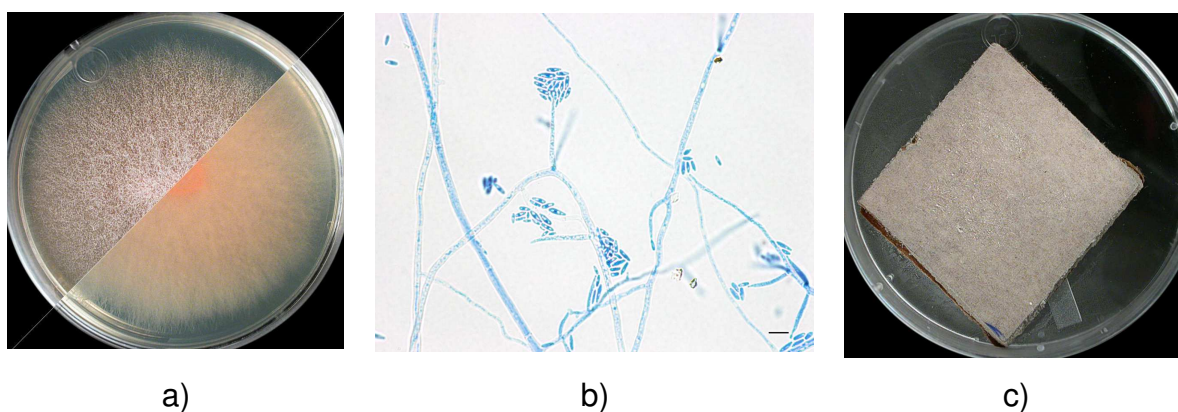
#### 2.5.1.1.9 *Fusarium* sp.

Os fungos do gênero *Fusarium* pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento rápido, que produzem colônias planas, de aparência algodonosa e colorações variadas, podendo ser branca, creme, bege, salmão, canela, amarelo, vermelho, violeta, rosa ou roxo. O lado reverso da colônia pode ser incolor, marrom, vermelho, roxo escuro ou marrom. Crescem em temperaturas entre 20°C e 30°C. A morfologia microscópica exibe hifas septadas e hialinas, conidióforos curtos, fiálides em forma de fusos, macroconídios e microconídios piriformes a falciformes, separados por septos transversais, unicelulares ou bicelulares, curvos ou retos. São encontrados no solo e nas plantas, mas também, presentes no ar, devido aos níveis mais altos de esporos transportados, sobretudo durante o verão.



Estão relacionados a várias infecções em humanos e é uma das causas emergentes de micoses oportunistas. Os fungos do gênero *Fusarium* (Figura 14) são conhecidos pela produção de micotoxinas potentes e podem causar alterações químicas em materiais cimentícios e redução do pH. Em edificações, depositam-se sobre materiais de construção deteriorados e sistemas de condicionamento de ar, buscando ambientes de umidades altas.

Figura 14 – Fungos do gênero *Fusarium*. a) colônia de *Fusarium* sp. b) microscopia de *Fusarium* sp. c) colônias de *Fusarium* sp. em amostra de forro.



Fonte: INSPQ (2016)

#### 2.5.1.1.10 *Mycelia sterilia*

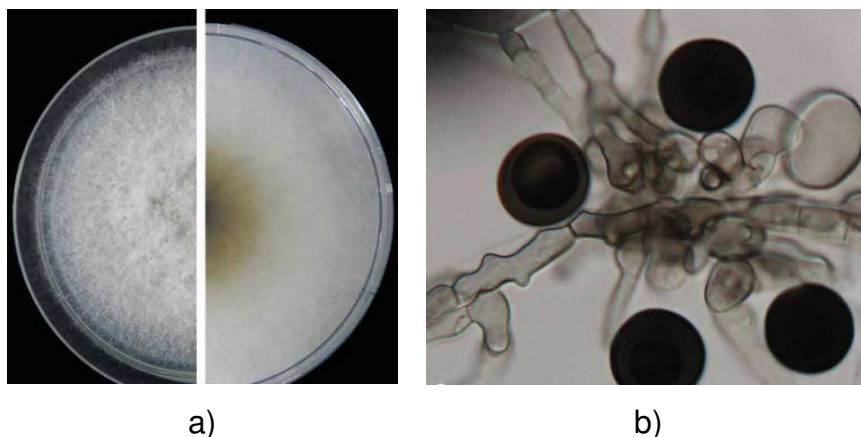
Este grupo de fungos, especificamente, não possui uma divisão taxonômica em função de seus micélios estéreis, e por consequência, ausência de esporos. Isto limita sua identificação, podendo atualmente ser aplicadas técnicas moleculares de extração de DNA para tentativa de associação de características entre morfotipos.

#### 2.5.1.1.11 *Nigrospora* sp.

Os fungos do gênero *Nigrospora* (Figura 15) pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento rápido, colônias planas de coloração inicialmente brancas, tornando-se acinzentadas a pretas com a idade devido a esporulação, com reverso que tende a cinza-ferro com manchas escuras. A temperatura ideal de desenvolvimento varia entre 20°C e 30°C. A morfologia microscópica exhibe conidióforos micronematosos ou semimacronematosos, ramificados, flexuosos, brancos a acinzentados e lisos.

Conidióforos isolados, pretos, brilhantes, globosos ou elipsoidais, lisos e sem septos, facilmente identificados com lupa. Geralmente são encontrados na natureza como endófitos, sapróbios e patógenos de plantas.

Figura 15 – Fungos do gênero *Nigrospora*. a) colônia de *Nigrospora* sp. b) microscopia de *Nigrospora* sp.



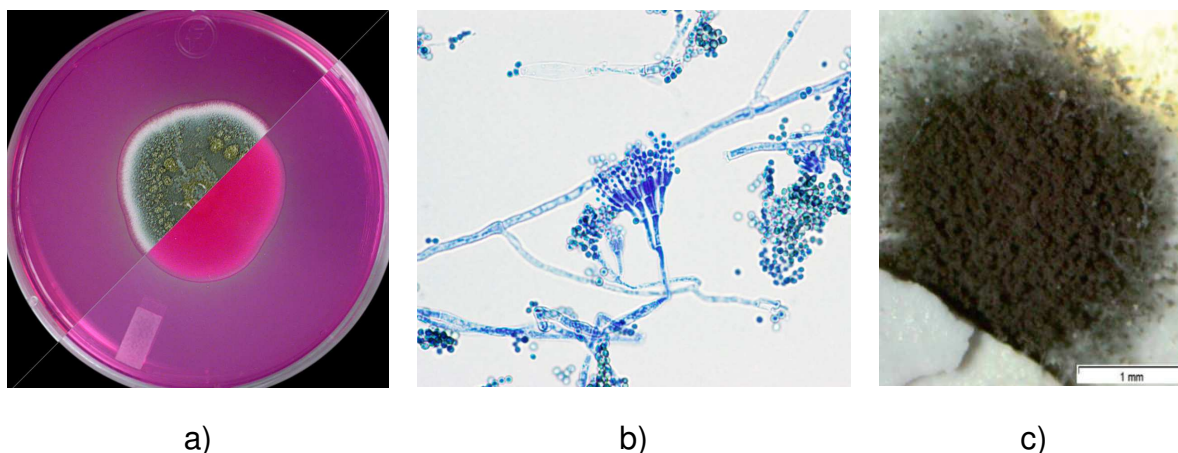
Fonte: Wang *et al.* (2017)

#### 2.5.1.1.12 *Penicillium* sp.

Os fungos do gênero *Penicillium* (Figura 16) pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que apresentam crescimento rápido, com aparência de feltros densos, de colorações majoritariamente verdes, às vezes brancas ou mais escuras e reverso de cor pálida ou amarelada. Excretam pelo micélio gotículas de exsudato, sendo transparentes, incolores ou opacas e coloridas. Ainda exibem sulcos radiados ou concêntricos. A temperatura ideal de crescimento varia entre 20°C e 30°C, em pH de 3 a 4,5. A morfologia microscópica apresenta hifas septadas, estipes com dilatação apical ou vesícula que dão origem aos ramos, râmulos e métulas. A partir das métulas nascem as fiálides em forma de frasco, aparentando uma escova. Contudo, existem espécies monoverticiladas, onde as fiálides nascem diretamente do estipe. Das fiálides, por fim, originam-se os conídios, unicelulares, lisos ou rugosos, hialinos ou pigmentados, de diferentes formatos (globosos, elipsoidais, cilíndricos ou fusiformes). São encontrados no solo, na vegetação em decomposição, alimentos e materiais de construção biodeteriorados.

Nas construções estão presentes em ambientes internos e externos, materiais absorventes e de isolamento, carpetes, etc.

Figura 16 – Fungos do gênero *Penicillium*. a) colônia de *Penicillium* sp. b) microscopia de *Penicillium* sp. c) estereomicroscopia de *Penicillium* sp.



Fonte: a) e b), INSPQ (2016) e c), Abdel-Rahim *et al.* (2018)

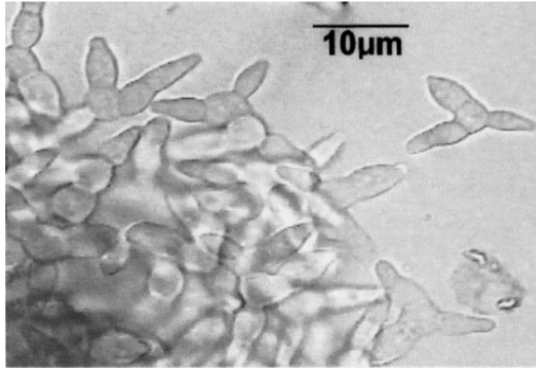
#### 2.5.1.1.13 *Tripospermum* sp.

Anteriormente a esta descrição, ressalta-se a escassez de estudos descrevendo este gênero. Foram identificados em paredes externas pintadas com tinta acrílica no Brasil pela primeira vez por Shirakawa *et al.* (2002), apresentando características macro e microscópicas semelhantes a uma colônia encontrada neste trabalho, motivando, portanto, a necessidade de aprofundamento na literatura.

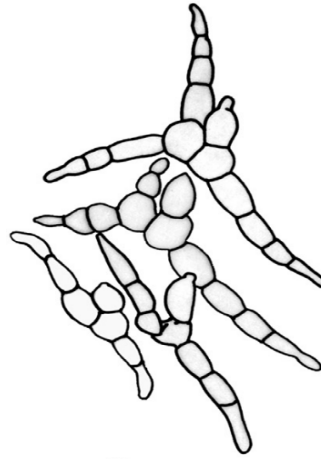
Os fungos do gênero *Tripospermum* (Figura 17) pertencem ao grupo dos ascomicetos. São fungos filamentosos que devem apresentar crescimento lento, de colônias densas em crescimento aéreo, baixo, de coloração cinza escura a preta. A temperatura ideal para o crescimento varia entre 15°C e 20°C. A morfologia microscópica exibe micélios com produção de fiálides laterais e conídios tipicamente trirradiais planares e tetrarradiais, de maior largura na base, mais finos e hialinos próximo às pontas, septados e desiguais em tamanho.

Foram identificados por micologistas aquáticos, no entanto, também são encontrados como patógenos de árvores e seres humanos.

Figura 17 – Fungos do gênero *Tripospermum*. a) microscopia de *Tripospermum* sp. b) Ilustração de *Tripospermum* sp.



a)



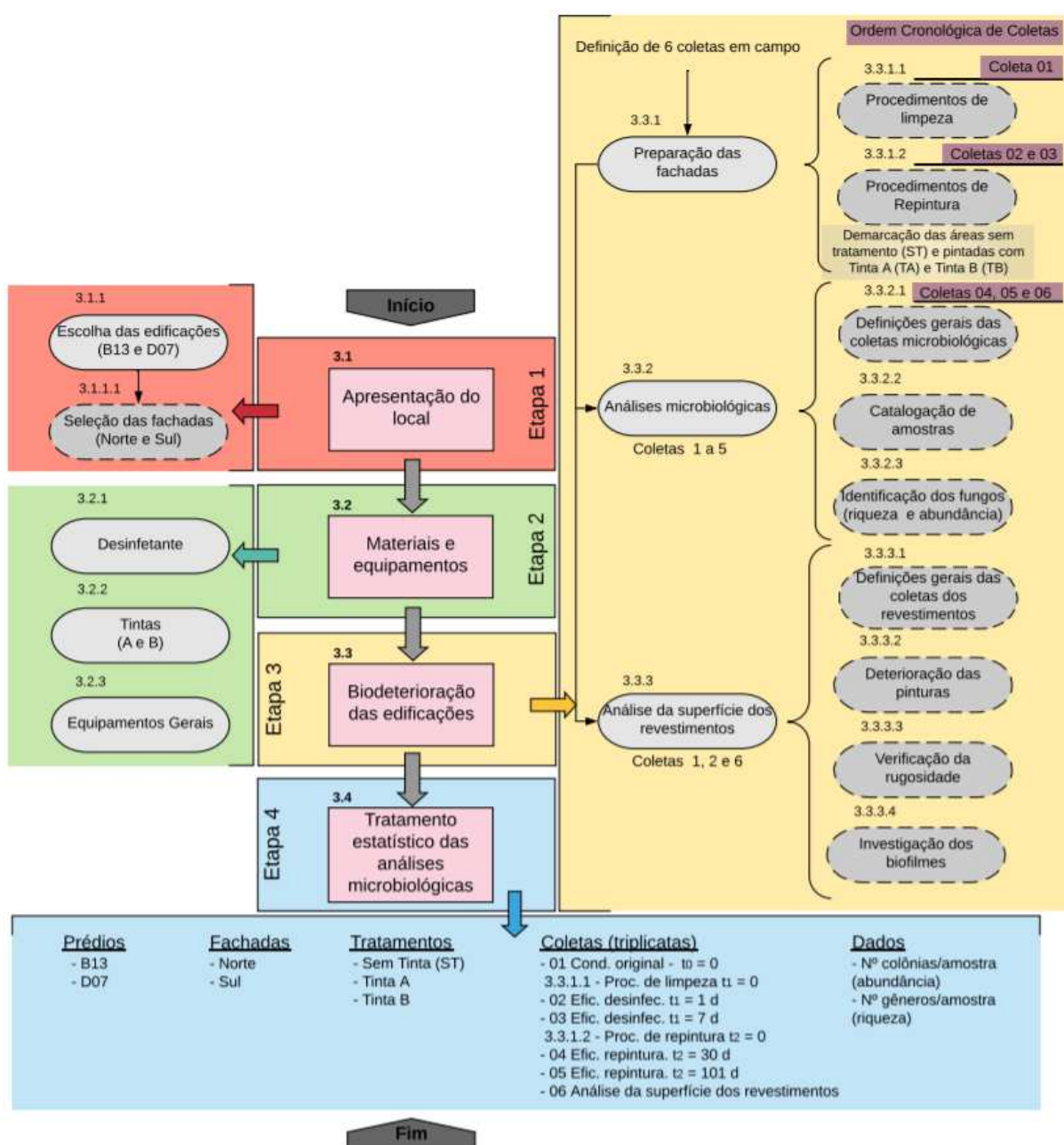
b)

Fonte: a) Shirakawa *et al.* (2002) e b), Magyar *et al.* (2005)

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa. Para que os objetivos almejados pudessem ser alcançados, detalharam-se aqui, os sistemas de fachadas avaliados, as coletas realizadas, as análises, e por fim, o tratamento estatístico dos dados, dispostos no delineamento experimental proposto na Figura 18.

Figura 18 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor



### 3.1 APRESENTAÇÃO DO LOCAL

Esta pesquisa foi realizada na cidade de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul, com população estimada pelo IBGE (2017) de 230.914 pessoas, clima subtropical úmido que abrange a maior parte do estado do Rio Grande do Sul, com verões quentes e invernos frios, em relação aos padrões brasileiros. (METEOBLUE, 2017; FREITAS, 2018). É possível dizer que as quatro estações do ano são definidas, contudo, ocorrem algumas variações meteorológicas, em que se observam temperaturas de verão em dias de inverno. (METEOBLUE, 2017).

#### 3.1.1 Escolha das Edificações

As duas edificações em estudo fazem parte de um conjunto de prédios localizados no campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, em São Leopoldo, com área de aproximadamente 90,55 hectares, mais de 400 salas de aula, laboratórios diversos e biblioteca referência na América Latina. A arquitetura dos edifícios, quase em sua totalidade, tem predominância horizontal. (UNISINOS, 2017). No interior do campus, considerando aspectos visuais, posições geográficas, características arquitetônicas, biodeterioração, entre outros, selecionaram-se duas edificações, e nestas, quatro fachadas, sendo duas voltadas a orientação norte, com maior incidência solar, e duas ao sul, com incidência solar direta quase inexistente. A Figura 19 exibe a localização dos dois prédios D07 e B13, nomeados conforme modelo de endereços atual empregado pela universidade.

Figura 19 – Localização das edificações Campus UNISINOS - SL



Fonte: Elaborado pelo autor

Ambas possuem finalidades distintas, sendo o prédio 13, localizado no setor B, denominado B13 (Figura 20), utilizado quase que em sua totalidade para a ministração de aulas e cursos. Já o prédio 7, localizado no setor D, denominado D07 (Figura 21), foi projetado como auditório para palestras, seminários e convenções, permitindo capacidade maior de público. Em ambos locais serão realizadas verificações nas fachadas orientadas a norte e a sul, totalizando a inspeção de 4 fachadas distintas, apontadas a seguir.

Figura 20 – Vista superior do prédio B13 e indicação das fachadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 – Vista superior do prédio D07 e indicação das fachadas

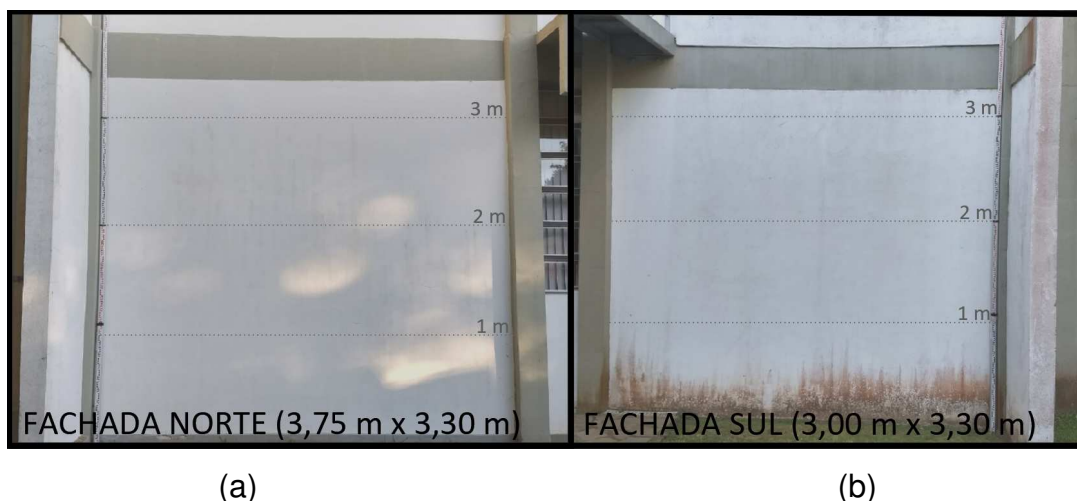


Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.1.1 Seleção das fachadas

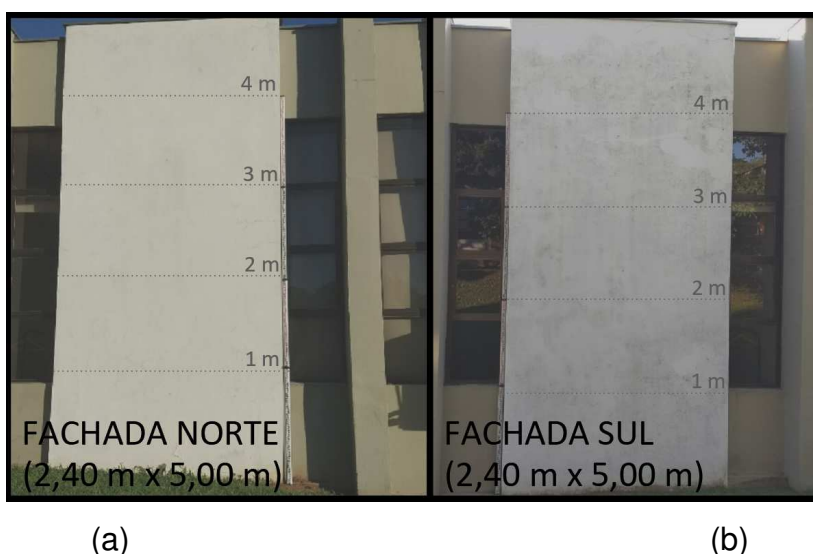
As quatro fachadas selecionadas apresentadas pelas Figura 22 e Figura 23, detalham as características de cada um dos sistemas, possibilitando a visualização de biofilmes formados sobre as pinturas, especialmente naquelas orientadas a sul. As fachadas norte e sul do prédio B13 possuem alturas disponíveis para inspeção de aproximadamente 3,30 m até a viga de concreto armado aparente e largura de 3,75 m e 3,00 m, respectivamente. No prédio D07, as fachadas norte e sul possuem, igualmente, alturas de 5,00 m e larguras de 2,40 m.

Figura 22 – Fachadas Prédio B13. (a) Norte; (b) Sul



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 – Fachadas Prédio D07. (a) Norte; (b) Sul



Fonte: Elaborado pelo autor



## 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Aqui, descreve-se brevemente os materiais e a lista de equipamentos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

### 3.2.1 Desinfetante

De acordo com as pesquisas descritas por Shirakawa *et al.* (2002), Schulte, Wingender e Flemming (2004) e Allsopp, Keal e Gaylarde (2004), foi adotado o uso do hipoclorito de sódio (NaClO) com concentração de 2,5%, aplicado sobre toda a superfície das fachadas. Para tanto, utilizou-se escova macia para espalhar o produto, aguardando um tempo de ação aproximado de 15 minutos. Posteriormente, foi executada a remoção do produto e dos biofilmes por hidrojateamento com lava-jato de alta pressão.

### 3.2.2 Tintas

As duas tintas aplicadas nesta pesquisa, apresentadas pela Tabela 10, foram genericamente intituladas de Tinta A (TA) e Tinta B (TB), sendo ambas fornecidas no mercado nacional e indicadas para pintura tanto de ambientes internos, como de ambientes externos.

A Tinta A, de marca LUXENS, linha Standard, acrílica à base de água, acabamento fosco, sem descrições complementares de suas características na embalagem.

A Tinta B, de marca Sherwin Willians, linha Premium Metalatex Bactercryn, acrílica à base de água, semibrilho, que declara em seu corpo de texto possuir excelência na prevenção da proliferação de fungos.

Considerou-se pela diferença de custos e propriedades, a Tinta A, de padrão médio, teoricamente menos eficiente do ponto de vista da inibição do desenvolvimento fúngico que a Tinta B. Sendo uma das propostas do trabalho corroborar tal afirmação. No entanto, não foram apresentadas as composições e formulações completa das tintas, discutindo a respeito de alguns de seus componentes dispostos na FISPQ dos produtos.

Tabela 10 – Informações gerais apresentadas nas embalagens das tintas aplicadas

| Informações Gerais              |                                                                                                                                  | Tinta A                                                                                                                                                                                                                 | Tinta B             |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Nome                            |                                                                                                                                  | Standard                                                                                                                                                                                                                | Metalatex Bactercyl |
| Tipo                            |                                                                                                                                  | Acrílica                                                                                                                                                                                                                | Acrílica Premium    |
| Uso                             |                                                                                                                                  | Interno e Externo                                                                                                                                                                                                       | Interno e Externo   |
| Fabricante                      |                                                                                                                                  | Luxens                                                                                                                                                                                                                  | Sherwin Willians    |
| Conteúdo                        |                                                                                                                                  | 900 mL                                                                                                                                                                                                                  | 900 mL              |
| Lote                            |                                                                                                                                  | 0118850                                                                                                                                                                                                                 | TA2968801           |
| Validade                        |                                                                                                                                  | 09/2021                                                                                                                                                                                                                 | 11/2021             |
| Propaganda                      | Rendimento de até 25 m <sup>2</sup> ;<br>Ótima cobertura;<br>Sem cheiro.                                                         | Poderoso antimoho, alta lavabilidade, resistência superior a umidade e ausência de cheiro.                                                                                                                              |                     |
| Composição                      | Emulsão acrílica modificada, cargas minerais inertes, pigmentos inorgânicos e/ou orgânicos, aditivos especiais, biocidas e água. | Água, bactericidas e fungicidas não metálicos (isotiazolinonas), polímero acrílico modificado, cargas minerais inertes, éteres glicólicos, pigmentos orgânicos e inorgânicos (isentos de chumbo e cromatos) e aditivos. |                     |
| Normas                          | NBR 11702; NBR 15079                                                                                                             | NBR 11702; ISO 9001; ISO 14001; OHSAS 18001.                                                                                                                                                                            |                     |
| Selos de qualidade e ambientais | Participante do Programa Coatings Care;<br>Declara menos COV;<br>Embalagem reciclável.                                           | Embalagem reciclável.                                                                                                                                                                                                   |                     |

Fonte: Elaborada pelo autor

Em complemento, a Tabela 11 apresenta alguns ingredientes presentes na composição das tintas A e B, considerados perigosos, segundo a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Em sua maioria, com a função de conservação, modificação das propriedades e controle da proliferação de bactérias, fungos e algas.

Tabela 11 – Ingredientes perigosos presentes na composição das tintas aplicadas apresentados pela FISPQ

| Ingrediente                | Fórmula                | Tinta |   | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|------------------------|-------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                        | A     | B |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Cloro-metil-isotiazolinona | $C_4H_4ClNOS$          | +     | - | Conservante com efeitos antibacterianos e antifúngicos no grupo das isotiazolinonas. É eficaz contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, leveduras e fungos.                                                                                                 |
| Dioxido de titânio         | $TiO_2$                | +     | + | Apresenta bom desempenho em uma ampla variedade de sistemas à base de água e solventes, fornecendo a alta resistência à calcinação, alta retenção de brilho, alta retenção de tingimento, excelente resistência ao amarelamento causado por restauração prolongada. |
| Fenoxietanol               | $C_8H_{10}O_2$         | -     | + | Eficaz como conservante na inativação de doses de teste de microrganismos gram-negativos e gram-positivos e leveduras.                                                                                                                                              |
| Piritiona de Zinco         | $C_{10}H_8N_2O_2S_2Zn$ | -     | + | Devido à sua baixa solubilidade em água (8 ppm em pH neutro), é adequada para uso e proteção das películas de tintas em ambientes externos e outros produtos que fornecem proteção contra fungos e algas. É um algicida eficaz.                                     |
| Caulino                    | $Si_2Al_2O_5(OH)_4$    | +     | + | O mineral é utilizado para completar o óxido de titânio como agente de coloração branca em muitos produtos. É utilizado em algumas tintas e pigmentos, particularmente em tons de branco.                                                                           |
| Metassilicato de Sódio     | $Na_2SiO_3$            | +     | - | Normalmente é utilizado na produção de pigmentos. É empregado como fonte de sílica solúvel na produção do dióxido de titânio auxiliando na estabilidade e dispersão da tinta.                                                                                       |

Fonte: FISPQ (2018)

Segundo as empresas responsáveis pela elaboração das fichas, nenhum outro ingrediente, dentro do conhecimento atual dos fornecedores e nas concentrações aplicáveis, pode ser considerado como perigoso à saúde e ao meio ambiente.

Apesar disso, a embalagem da Tinta B, em sua composição, descreve o uso de fungicidas não metálicos (isotiazolinonas), não citados na FISPQ, mas considerados para continuidade das análises.

Por fim, cabe mencionar que para o procedimento de pintura foram utilizadas lixas de grãos 180 a 360 e 360 a 400 nas alvenarias, além das bandejas e rolos como acessórios.

### 3.2.3 Equipamentos Gerais

Os equipamentos utilizados durante os procedimentos de limpeza e pintura, assim como na coleta, inoculação, incubação, identificação de fungos e análise das superfícies dos revestimentos são apresentados pela Tabela 12.

Tabela 12 – Equipamentos utilizados

| <b>Descrição</b>                                            | <b>Fabricante/Modelo</b> | <b>Função</b>                                                         |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Microscópio Trinocular com câmera AxioCam                   | Primo Star - Zeiss       | Inspeção por imagem com objetivas de 4x, 10x e 40x e oculares de 10x. |
| Microscópio Digital                                         | Smartzoom 5 - Zeiss      | Ampliação de até 1010x.                                               |
| Software análise microscopias                               | ZEN                      | Projeção e edição de imagens.                                         |
| Autoclave Vertical                                          | AV-75 - Phoenix          | Esterilização de objetos.                                             |
| Capela de fluxo laminar                                     | MA1550 - Marconi         | Área de trabalho estéril.                                             |
| Estufa Bacteriológica                                       | B2CBE- Deleo             | Incubação de placas                                                   |
| Balança semi-analítica (capacidade 340g e precisão 0,001g.) | AD330F - Phox            | Pesagem dos meios e amostras,                                         |
| Lava jato alta pressão                                      | -                        | Limpeza e remoção de biofilmes.                                       |

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3 BIODETERIORAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

Pode-se dizer que, de modo geral, a proposta desta pesquisa foi inspecionar as quatro fachadas apresentadas, buscando identificar a riqueza e a abundância das colônias de fungos que contribuem para a deterioração dos acabamentos de pintura. Para isto, previu-se a verificação destas fachadas em três situações distintas: nas condições originais em que foram encontradas, após um procedimento de limpeza, e após a repintura, comparando ainda, neste caso, a eficiência de duas tintas aplicadas (Tinta A e Tinta B), teoricamente com diferentes padrões de resistência aos microrganismos.

Para tanto, fez-se necessário um estudo minucioso dos procedimentos a serem adotados, da quantidade de coletas e amostras e de seu controle e rastreamento, e especialmente, das técnicas de identificação dos fungos e de avaliação das superfícies dos revestimentos e películas das tintas.

Visando análises efetivas nas duas edificações em questão, em função do número extenso de amostras previstas e observando o prazo da pesquisa, propôs-se a realização de seis coletas, dispostas na seguinte ordem cronológica:

- i. Coleta 01 – Situação: fachadas nas condições originais (análises microbiológicas e da superfície dos revestimentos): tempo 0 ( $t_0$ ) = 0, em 18/10/2018;  
Executou-se, então, o procedimento de limpeza: tempo 1 ( $t_1$ ) = 0 dias, em 03/12/2018;
- ii. Coleta 02 – Situação: 1ª verificação após a realização do procedimento de limpeza (análises microbiológicas e da superfície dos revestimentos): tempo 1 ( $t_1$ ) = 1 dia, em 04/12/2018;
- iii. Coleta 03 – Situação: 2ª verificação após a realização do procedimento de limpeza (análises microbiológicas): tempo 1 ( $t_1$ ) = 7 dias, em 11/12/2018;  
Executou-se, desta vez, o procedimento de repintura: tempo 2 ( $t_2$ ) = 0, em 11/12/2018;
- iv. Coleta 04 – Situação: 1ª verificação após a realização do procedimento de repintura (análises microbiológicas): tempo 2 ( $t_2$ ) = 30 dias, em 10/01/2019;

- v. Coleta 05 – Situação: 2ª verificação após a realização do procedimento de repintura (análises microbiológicas): tempo 2 ( $t_2$ ) = 101 dias, em 22/03/2019;
- vi. Coleta 06 - Situação: 3ª verificação após a realização do procedimento de repintura (análises da superfície dos revestimentos): tempo 2 ( $t_2$ ) = 181 dias, em 10/06/2019.

Ressalta-se que, quando se usa o termo “análises microbiológicas”, o objetivo em questão foi constatar a riqueza e abundância dos fungos que colonizam as fachadas, e quando se usa “análises da superfície dos revestimentos”, passa a ser a avaliação da rugosidade e a formação de biofilme e seus efeitos sobre a película das tintas aplicadas sobre o revestimento das fachadas.

### **3.3.1 Preparação das Fachadas**

Previamente à preparação das fachadas, realizou-se a Coleta 01, identificando sob as condições originais em que as edificações foram encontradas, quais os fungos estavam presentes em biofilmes formados, em termos de riqueza e abundância, a nível de gênero. Neste caso, foram coletadas amostras para análises microbiológicas e da superfície dos revestimentos.

Posteriormente, foram executados em concordância com as recomendações técnicas de Shirakawa *et al.* (2002), Schulte, Wingender e Flemming (2004) e Allsopp, Keal e Gaylarde (2004), os procedimentos gerais de limpeza e desinfecção, e de Bolorino, Alba e Ritti (1995), Camtech (2007), Fazenda (2008), Breitbach (2009), Marques (2013) e KLM (2013), os de repintura de alvenarias revestidas de argamassa.

#### **3.3.1.1 Procedimentos de limpeza**

Os procedimentos de limpeza foram realizados com o apoio da empresa Vivante, responsável pelos segmentos de manutenção e limpeza do campus UNISINOS São Leopoldo, que forneceu equipe técnica auxiliar para os serviços de hidrojateamento. Assim, aplicou-se o hipoclorito de sódio (concentração 2,5%) com escova nas áreas de trabalho, controlando o tempo de ação de 15 minutos, e em

seguida, realizou-se a lavagem com lava-jato de alta pressão. A Figura 24 apresenta o resultado do procedimento de limpeza executado na fachada de orientação sul, do edifício B13. O mesmo foi executado nas demais fachadas.

Figura 24 – Procedimento de limpeza realizado na fachada sul, do prédio B13, antes e depois.



Fonte: Elaborado pelo autor

Isto possibilitou a realização das Coletas 02 e 03, que possuíam claramente o objetivo de verificar a eficácia da desinfecção, e ainda, buscar alguma relação na sucessão de fungos colonizadores, constatando se haveriam variações na sua riqueza e abundância entre o 1º dia e o 7º dia após o procedimento. Salienta-se que, exclusivamente na Coleta 02, as amostras das superfícies dos revestimentos para análises da rugosidade e formação de biofilme também foram colhidas, possibilitando a verificação da remoção dos biofilmes, em comparação às condições originais.

#### 3.3.1.2 Procedimentos de repintura

No que se refere aos procedimentos de repintura, propôs-se o seguinte: inicialmente, em cada uma das quatro fachadas investigadas, delimitaram-se três áreas de trabalho de dimensões mínimas de 0,60 m x 0,60 m. Nestas delimitações, respeitou-se um afastamento entre áreas de 0,20 m e altura de 2,20 m, buscando minimizar possíveis contaminações laterais e do solo. Os interiores dos quadrados foram demarcados, da esquerda para a direita, representando os tratamentos

superficiais avaliados, sendo estes, a área limpa sem nenhum tratamento complementar (ST), área pintada com Tinta A (TA) e área pintada com Tinta B (TB). A Figura 25 ilustra a representação dos quadrados demarcados para análise dos três acabamentos superficiais.

Figura 25 – Representação das áreas de trabalho demarcadas para realização dos procedimentos de repintura.

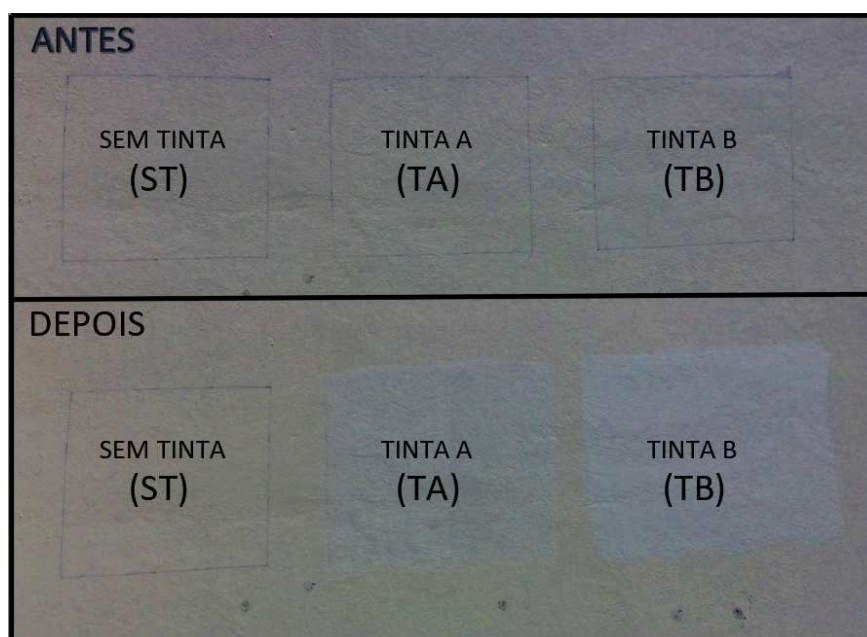


Fonte: Elaborado pelo autor

Dadas as demarcações, iniciaram-se os procedimentos básicos para repintura dos dois quadrados com as tintas A e B. Com espátula, foram raspadas as películas e materiais soltos, completando o processo com lixamento manual. Logo após, retirou-se com vassoura todo o pó remanescente, finalizando o processo com pano úmido, e aguardando então, a secagem das superfícies para aplicação do fundo selador. Conforme instruções do fabricante, aplicou-se uma demão do produto, com o objetivo de selar os poros e uniformizar a base para recebimento da camada final. Após a secagem do selador, aplicou-se as referidas tintas, em duas demãos, aguardando os tempos de secagem informados pelos respectivos fabricantes. A Figura 26 apresenta o procedimento de repintura realizado na fachada sul, do prédio B13, como exemplo do que foi executado nas demais fachadas. Posteriormente a isto, aguardou-se um período de 30 dias para a realização da Coleta 04, nas quais foram colhidas exclusivamente amostras para análises microbiológicas.



Figura 26 –Procedimento de repintura realizado na fachada sul, do prédio B13.



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, a Coleta 05 foi realizada seguindo exatamente os mesmos cuidados demandados na Coleta 04, 101 dias após a repintura. A Coleta 06, por sua vez, foi realizada 181 dias depois da repintura, para última análise da superfície dos revestimentos.

Algumas considerações são feitas para esclarecer o fato de se realizar análises microbiológicas apenas até a Coleta 05, e uma última coleta exclusivamente para análise da superfície dos revestimentos. Observa-se que, pela quantidade de tempo demandado para as análises microbiológicas completas, estas não foram realizadas na Coleta 06 em função do prazo limite desta pesquisa. Por outro lado, a análise da superfície dos revestimentos ocorre de forma mais rápida, e portanto, aguardou-se o máximo possível para uma avaliação, pois quanto maior for o tempo de ação dos microrganismos sobre o substrato, maior são os efeitos observados.

### 3.3.2 Análises Microbiológicas

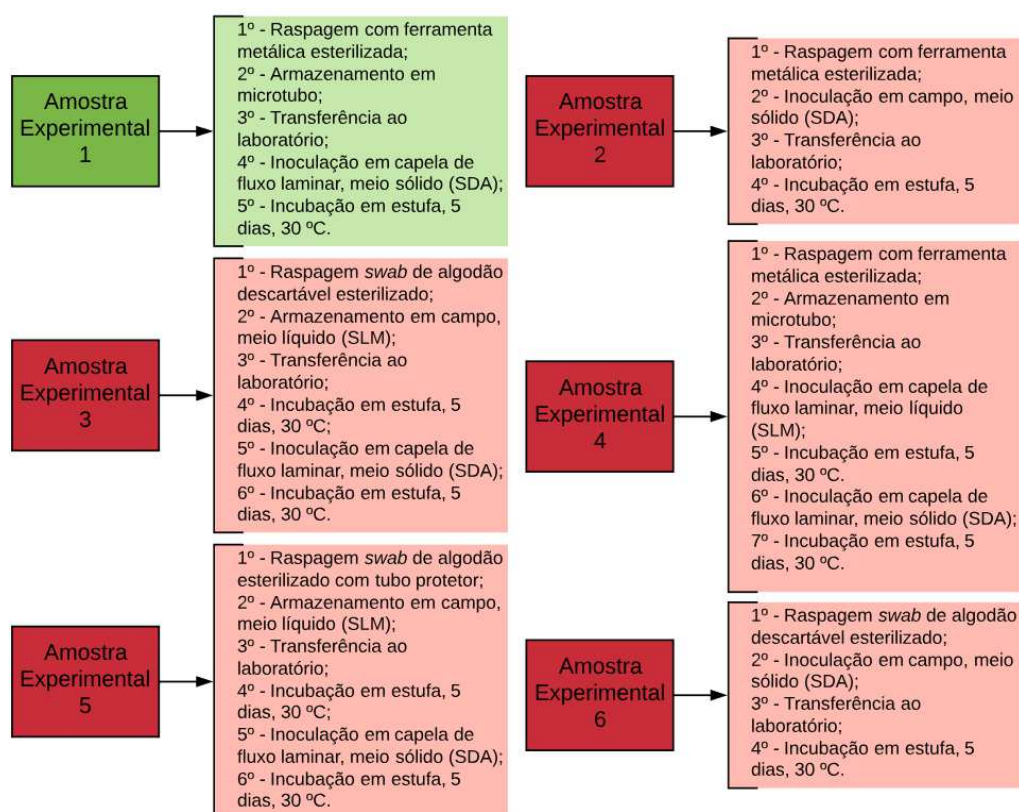
Refere-se ao método de coleta, armazenamento e transporte, inoculação, incubação e identificação dos fungos encontrados em biofilmes formados sobre as películas das tintas de revestimentos externos.

### 3.3.2.1 Definições gerais das coletas microbiológicas

Com relação ao método de coleta e cultivo das colônias de fungos, inicialmente, propôs-se testes preliminares baseados nas bibliografias de Pelczar, Chan e Krieg (1996), Lacaz *et al.* (1998), Allsopp, Seal e Gaylarde (2004) e Ribeiro e Stelato (2011), para a definição do procedimento mais apropriado.

Estes, ocorreram na fachada sul, do prédio D07. Realizaram-se, na ocasião, 6 métodos de coletas distintos, variando os meios de cultura, os procedimentos de raspagem e as técnicas de inoculação. As amostras experimentais coletadas, numeradas de 1 a 6, são apresentadas pela Figura 27, descrevendo as etapas, os instrumentos de coleta e armazenamento e as técnicas de inoculação e incubação. Os meios líquidos foram preparados em tubos de ensaio e os meios sólidos em placas de Petri, ambos (materiais e recipientes) devidamente esterilizados.

Figura 27 – Testes preliminares de coleta e cultivo de amostras experimentais para definição do método aplicado



Fonte: Elaborado pelo autor

Haja vista a realização de cada uma das etapas descritas nos testes preliminares, foi possível identificar o crescimento de colônias de fungos e bactérias nas amostras 1, 2, 5 e 6, colônia de bactérias na amostra 3 e colônia de fungos do gênero *Aspergillus* na amostra 4. Examinou-se, portanto, as especificidades dos diferentes métodos, descartando primeiramente, a utilização dos meios líquidos em função do desenvolvimento limitado de fungos e bactérias nas amostras experimentais, além do maior número de etapas previstas no roteiro, elevando o tempo e o uso de recursos. Assim, dentro das opções de amostras (1, 2 e 6) inoculadas em meio sólido, foram consideradas questões de planejamento (organização, facilidade no transporte de materiais destinados a coleta, etc.), e confiabilidade, visto que a inoculação das amostras em câmara de fluxo laminar aumenta as possibilidades de obter-se resultados fidedignos. Logo, a técnica de coleta e cultivo escolhida para compor o método de inspeção foi a efetuada na amostra experimental 1.

Em vista disso, descreve-se aqui, de maneira detalhada, todas as fases que compõem os procedimentos de coletas realizados, desde a preparação dos utensílios até a fase final de incubação das amostras. Previamente ao deslocamento, uma série de itens foram preparados, atentando para as tarefas referentes ao campo, e ao recebimento das amostras em laboratório. Logo, os microtubos e instrumentos coletores foram esterilizados em autoclave a 121°C por 20 minutos, embalados em vidro e abertos apenas no instante do uso. Ainda, utensílios auxiliares e a lista de identificação e controle de amostras apresentada pela Figura 28, compõem o *checklist* de objetos transportados a campo. Em laboratório, previamente a saída, as placas de Petri com meio de cultura estavam preparadas para inoculação. Para tal, utilizou-se o meio em pó Saboraud Dextrose Ágar, diluído em água destilada na proporção de 65 g/L, despejados, após procedimento de esterilização, na quantidade aproximada de 25 mL por placa.

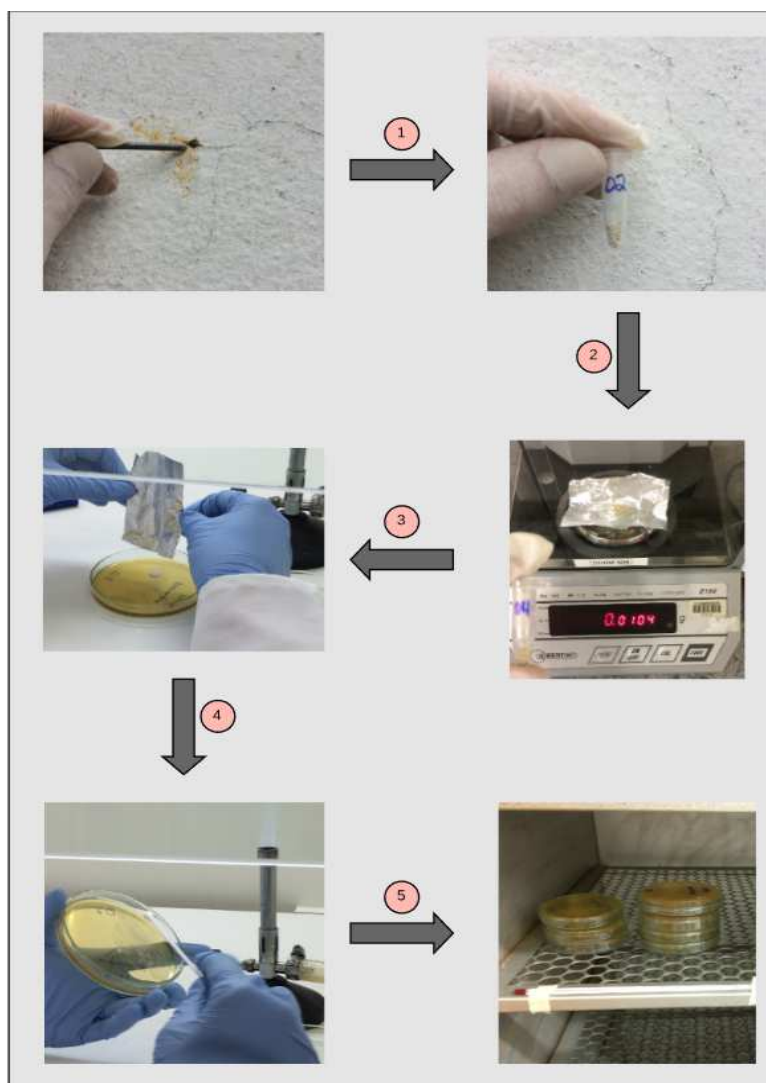
Figura 28 – Lista modelo de identificação e controle de amostras para uso nas Coletas 01 a 06

| Lista de identificação e controle de amostras |                                                                                                                |     |    |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|
| Ficha de Coleta N.                            |                                                                                                                | 000 | 19 |
| a)                                            | Nome dos técnicos de amostragem:                                                                               |     |    |
| b)                                            | Data e hora da coleta:                                                                                         |     |    |
| c)                                            | Número de coleta:                                                                                              |     |    |
| d)                                            | Edificações em que se originam as amostras: Edificação D07 e Edificação B13                                    |     |    |
| e)                                            | Característica do acabamento superficial amostrado: (ST) SEM TINTA; (TA) TINTA A; (TB) TINTA B.                |     |    |
| f)                                            | Números de amostras: 00 a 00                                                                                   |     |    |
| g)                                            | Laboratório que receberá os resultados: Laboratório de Microbiologia                                           |     |    |
| h)                                            | Descrição das condições climáticas durante coleta: Dia ensolarado, umidade 00%, temperatura de 00°C            |     |    |
| i)                                            | Determinações efetuadas em campo: Armazenamento das amostras em microtubo identificado                         |     |    |
| j)                                            | Determinações efetuadas em laboratório: Inoculação, incubação, identificação e contagem das colônias de fungos |     |    |
| k)                                            | Observações: -                                                                                                 |     |    |

Fonte: Elaborado pelo autor

No que se refere aos procedimentos em campo, em concordância com a técnica escolhida ilustrada pela Figura 29, dividiu-se a coleta em cinco etapas, que inicia por: 1) raspagem de uma quantidade de amostra da superfície com instrumento coletor, armazenando-a em microtubo de 1,5 mL; 2) transporte ao laboratório, acondicionamento em papel alumínio e pesagem em balança analítica (admitindo valores de quantidade de amostra entre 0,0090 g e 0,0110 g); 3) transferência a câmara de fluxo laminar (previamente higienizada e desinfetada com acionamento de luzes UV por cerca de 15 minutos) e despejo sobre o meio de cultura; 4) inoculação por meio da técnica de esgotamento por estrias, que consiste na movimentação da alça de platina realizando estrias na superfície do meio; 5) nomeação das amostras e transferência a estufa para a incubação, em uma temperatura entre 25 °C e 30 °C, visto que a maioria dos fungos são mesófilos, por um período de 5 dias.

Figura 29 – Ilustração das etapas do procedimento de coletas microbiológicas



Fonte: Elaborado pelo autor

Cumpridas as tarefas de preparação, coleta, armazenamento, transporte, inoculação e incubação, após 5 dias, a atenção transferiu-se a análise visual das placas, averiguando quantitativamente e qualitativamente as colônias de fungos que se proliferaram nas amostras originais. Após, realizou-se o isolamento em culturas puras para a identificação. Para tanto, na análise qualitativa, todas as placas foram inspecionadas minuciosamente, identificando com letras ao fundo da placa, em ordem alfabética, cada uma das colônias de fungos encontradas. Ainda, com o auxílio do contador, cada uma destas colônias, ou grupo de colônias identificadas, também foram quantificadas.

### 3.3.2.2 Catalogação de amostras

Em detrimento da enorme quantidade de amostras, visando garantir a confiabilidade dos dados, desenvolveu-se um método para catalogação e rastreamento. Desta forma, assim como a lista de identificação e controle de amostras apresentada pela Figura 28, as anotações em campo incluíam a denominação destas por meio de ordem numeral, registrada nos microtubos e na planilha de dados, preenchendo as informações a seguir, que geravam um código único para cada uma delas.

1. Número da coleta:
2. Código da edificação:
3. Letra inicial da orientação solar:
4. Código do tipo de superfície:
5. Número da amostra:
6. Letra (minúscula) para identificação das culturas puras isoladas:

Exemplo aleatório de denominação de amostra em campo.

1. Número da coleta: 04
2. Código da edificação: D07 (Prédio)
3. Letra da orientação solar: N (Norte)
4. Código do tipo de superfície: TA (Tinta A)
5. Número da amostra: 50

Rotulagem catalogada: 04D07NTA50, para placa original de culturas mistas colhida em campo.

Observa-se que, o preenchimento da informação número 6 depende, tão somente, da análise qualitativa e isolamento das colônias em específico em nova placas, em culturas puras. Portanto:

Exemplo aleatório de denominação complementar de amostra em laboratório.

6. Letra de identificação de placas de culturas puras: a

Rotulagem: 04D07NTA50a, para placa secundária de colônia de fungo isolada da placa original.

Em campo, além dos registros do número de amostras no microtubo, foram também demarcados os pontos exatos da raspagem da película da tinta no local. Assim, pode-se garantir o rastreamento completo das amostras, desde o ponto da parede em que as colônias se encontravam até a análise da riqueza e abundância dos gêneros presentes naquela amostragem.

### 3.3.2.3 Identificação dos fungos

Decorrido o isolamento das colônias em culturas puras, necessitou-se controlar as amostras minuciosamente, de forma individual, em função dos diferentes tempos de crescimento e esporulação. A medida em que as amostras foram apresentando a formação de estruturas reprodutivas, o método empregado para identificação dos fungos fundamentou-se no protocolo utilizado pelo Laboratório de Microbiologia da Unisinos.

Na preparação das lâminas, transfere-se a placa até a câmara de fluxo laminar, próxima ao bico de Bunsen com chama acesa. Prepara-se a lâmina, abre-se a placa, retirando pequeno fragmento da cultura de fungo com alça de platina estéril. Em seguida, pinga-se 1 gota de  $C_{20}H_2Br_4Cl_4Na_2O_5$  (Floxina) e 1 gota de KOH 3M (Óxido de Potássio) sobre o fragmento, cobrindo-a com lamínula e pressionando contra a lâmina. Esta lâmina já preparada, então, pode ser visualizada em microscópio.

Para tanto, utilizou-se microscópio trinocular, modelo Primo Star, com oculares de 10x de aumento e objetivas planacromáticas de 4x, 10x, 40x e 100x de aumento. O equipamento ainda oferece o acoplamento de câmera Axiocam e software ZEN, que possibilitam a fotografia em tempo real das estruturas reprodutivas dos fungos.

### 3.3.3 Análises das Superfícies dos Revestimentos

Como visto anteriormente, as análises das superfícies dos revestimentos foram realizadas em três coletas distintas (Coleta 01, 02 e 06), sendo a primeira delas, com o intuito de avaliar os biofilmes maduros formados durante um longo período nas fachadas em suas condições originais. Posteriormente, 1 dia após a limpeza, verificou-se a existência, ou não, de microrganismos remanescentes, e por fim, aproximadamente 6 meses depois do procedimento de repintura, avaliou-se o estado dos diferentes tratamentos propostos nesta pesquisa (ST, TA e TB). Buscou-se, por meio destas, corroborar a revisão literária baseada nas bibliografias de Bravery (1988) *apud* Ferrari *et al.* (2015), Schulte, Wingender e Flemming (2004), Giudice e Pereyra (2009), Woodward (2012), Giuseppe (2013) e Rizzardo (2016), no que diz respeito a sucessão da colonização de microrganismos, formação de biofilmes maduros, ancoragem dos fungos em substratos porosos, deposição de esporos em películas de tintas, influência da rugosidade na biodeterioração de revestimentos e perda de aderência nas interfaces entre camadas pelo desenvolvimento fúngico.

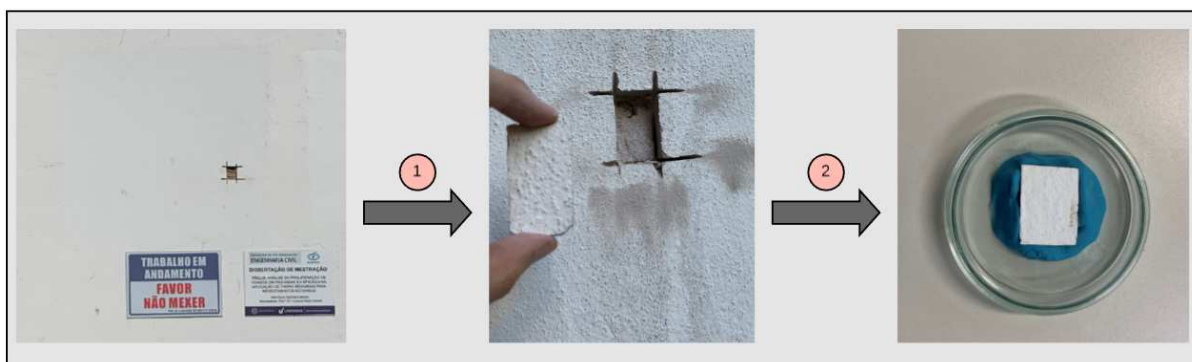
#### 3.3.3.1 Definições gerais das coletas dos revestimentos

Previamente à ida a campo, prepararam-se placas de Petri com determinada quantidade de massa de modelar em seu interior, servindo futuramente como base para acomodar as amostras e auxiliar no perfeito nivelamento da sua superfície. Conjuntamente a isto, transportou-se a campo serra de corte para retirar um quadrado nas alvenarias, com dimensões aproximadas de 4 cm x 4 cm. Os locais previstos para corte foram demarcados em pontos muito próximos aos das coletas microbiológicas, buscando uma relação entre com os fungos identificados em laboratório e os presentes na superfície das películas das tintas.

A Figura 30 ilustra, em duas etapas, o procedimento de preparação das amostras, sendo: 1) corte com serra para remoção de amostra, e 2) acondicionamento em placa de Petri e moldagem sobre massa de modelar para nivelamento da superfície.



Figura 30 – Ilustração das etapas do procedimento de coleta de amostras de revestimento externo para análise da superfície



Fonte: Elaborado pelo autor

Em resumo, na Coleta 01 foram retiradas 4 amostras, uma por fachada, assim como na Coleta 02, realizada um dia após o procedimento de limpeza. Finalmente, seis meses após o procedimento de repintura, a Coleta 06 previu-se a preparação de mais 12 amostras, desta vez, 3 por fachada, uma de cada situação de tratamento avaliada, isto é, nas áreas Sem Tratamento (ST), pintadas com Tinta A (TA) e pintadas com Tinta B (TB).

Logo, a avaliação ocorreu em dois modos distintos, primeiramente, comparando as Coletas 01 e 02, no que diz respeito a ação dos fungos sobre os revestimentos das fachadas em condições originais e a eficácia do procedimento de limpeza. Em um segundo momento, analisando após seis meses de exposição, as condições dos tratamentos (ST, TA e TB), comparando os resultados entre si.

Quando em laboratório, as amostras foram inspecionadas por um microscópio digital, de magnificação de até 1010x, permitindo a captura de imagens em 3D para verificação da rugosidade e espessura dos biofilmes e imagens em 2D com ultra resolução para investigação detalhada da superfície da amostra. Este, encontra-se no laboratório do itt Fuse, localizado na Unisinos, campus São Leopoldo. Com isto, foram basicamente realizadas, em cada amostra, a análise da deterioração das películas das tintas, da rugosidade dos sistemas de revestimentos das duas edificações e dos biofilmes formados sobre estes revestimentos.

### 3.3.3.2 Deterioração das pinturas

Nesta situação, buscou-se verificar, por meio das imagens da superfície em 2D, a formação de biofilmes, ancoragem dos micélios dos fungos, deposição de esporos e perda de aderência que causa o lascamento das tintas. Ainda, comparar os resultados antes de depois da limpeza pelas Coletas 01 e 02, e os acabamentos propostos por meio da Coleta 06.

### 3.3.3.3 Investigação dos biofilmes

Por último, através da Coleta 01, na qual as amostras possuíam biofilmes maduros formados durante maior período de tempo, analisou-se com precisão a espessura média dos biofilmes formados nas duas edificações.

### 3.3.3.4 Verificação da rugosidade

Estabeleceu-se, também pelas 12 amostras da Coleta 06, um valor de rugosidade média para cada uma das edificações (D07 e B13), comparando entre si os valores obtidos. Buscou-se, com isto, observar qual dos revestimentos possui a superfície mais rugosa, e por consequência, com maior biorreceptividade a proliferação de fungos ao longo do tempo.

## 3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

O tratamento estatístico dos dados foi efetuado pelo software SPSS por meio da realização de análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey, verificando se existem diferenças significativas entre as variáveis. Para tanto, compararam-se entre si as variáveis independentes, ou seja, os prédios (B13 e D07), as fachadas (N e S) e os tipos de tratamentos (ST, TA e TB), quanto a riqueza e abundância dos gêneros dos fungos isolados nas coletas microbiológicas 01 a 05 (especificamente, no caso dos tratamentos, apenas nas Coletas 04 e 05).

De forma detalhada, durante as coletas em campo, as amostragens foram recolhidas em triplicata, compreendendo para as Coletas 01, 02 e 03 (anteriores aos

procedimentos de repintura), um número total de 12 amostras originais (2 edificações x 2 fachadas x 3 amostras por fachada). Já nas Coletas 04 e 05 (após os procedimentos de repintura e proposição dos tipos de tratamento), consideraram-se um total de 36 amostras originais por coleta (2 edificações x 2 fachadas x 3 tratamentos x 3 amostras por tratamento). Isto gerou uma quantidade de 108 amostras originais pertencentes às 5 coletas, das quais buscou-se isolar todos os fungos em culturas puras para avaliação da abundância e riqueza (variáveis dependentes) com tratamento estatístico.

Previamente ao lançamento dos dados no SPSS, realizou-se a estatística básica das amostras em triplicatas, e posteriormente, do conjunto de amostras entre prédios e fachadas, obtendo a média, desvio padrão e o coeficiente de variação para abundância e riqueza de fungos.

Aplicando a análise de variância (ANOVA), comparou-se inicialmente a abundância de gêneros de fungos encontrados. A hipótese testada foi:

H<sub>0</sub>: existiu diferença significativa entre a quantidade de colônias isoladas (abundância).

Posteriormente, foram rodadas novas comparações, desta vez, isolando a riqueza de fungos encontrados. Para estas, a hipótese testada foi:

H<sub>0</sub>: existiu diferença significativa entre os gêneros de fungos isolados (riqueza).

Ressalta-se que, quando os valores de significância calculados foram menores do que 0,05, aceitaram-se as hipóteses H<sub>0</sub> de que existiam diferenças significativas entre as variáveis independentes analisadas. Porém, quando os valores foram maiores do que 0,05, rejeitaram-se as mesmas hipóteses.

No que se refere às análises das superfícies dos revestimentos, verificaram-se por meio dos perfis 3D gerados pelo microscópio digital, a altura média dos biofilmes pelas amostras da Coleta 01 e a rugosidade média das fachadas pelas amostras da Coleta 06, possibilitando a comparação entre os prédios B13 e D07. Nestas, foram aplicadas média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança.



## 4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados encontrados nas análises microbiológicas e das superfícies dos revestimentos, buscando relacioná-los aos objetivos propostos nesta pesquisa. Para tanto, são abordadas a aplicação do método proposto para catalogação e rastreamento das amostras, o resumo das coletas microbiológicas e suas análises e os efeitos da ação fúngica sobre as superfícies dos revestimentos.

### 4.1 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Divide-se em: catalogação e rastreamento das amostras, síntese dos fungos identificados nas Coletas 01 a 05 e análise dos fungos nos sistemas de fachadas das edificações.

#### 4.1.1 Catalogação e Rastreamento das Amostras

Apresenta-se brevemente a aplicação do método de catalogação e rastreamento de uma amostra aleatória da Coleta 05, de forma a elucidar o padrão de controle efetuado em todas as demais amostras desta pesquisa. A Figura 31 exhibe a fachada norte do prédio D07, na qual foram registrados com precisão os pontos de raspagem das películas das tintas.

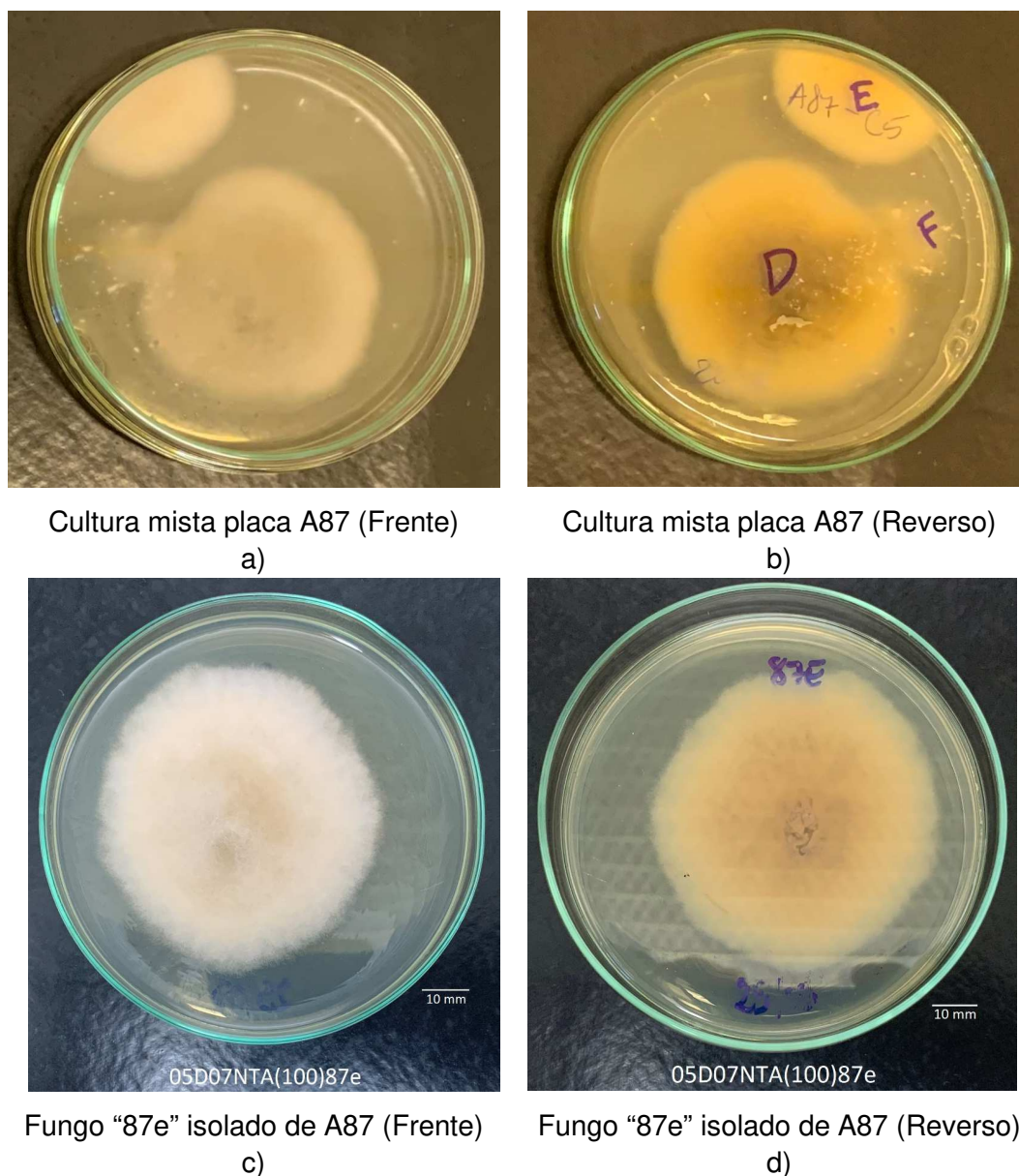
Figura 31 – Exemplo de localização dos pontos amostrados das películas das tintas



Fonte: Elaborado pelo autor

Na fachada exemplo, assim como nas demais fachadas avaliadas, foram coletadas amostras em triplicata das áreas Sem Tratamento (ST), pintada com Tinta A (TA) e pintada com Tinta B (TB), sendo registrados no local todo o conjunto de pontos. A seta vermelha na Figura 31 aponta para o local de raspagem da película da tinta, que neste caso, foi numerada em campo como amostra 87 (A87) e transportada ao laboratório. A Figura 32 apresenta o aspecto da amostra 87 (A87) após pesagem e inoculação em placa de Petri, e 5 dias de incubação e o isolamento de um dos fungos que se desenvolveram nesta placa.

Figura 32 – Crescimento de culturas mistas na amostra 87 e isolamento de fungo

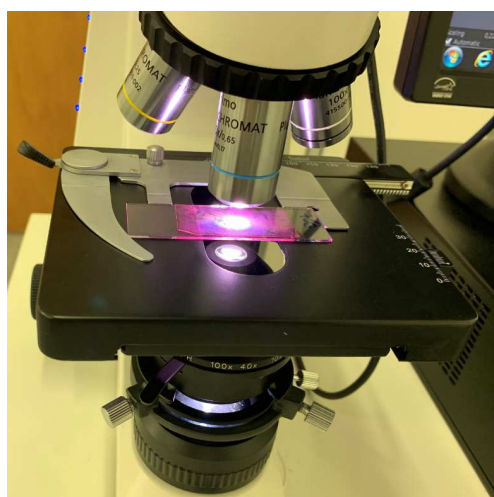


Fonte: Elaborado pelo autor

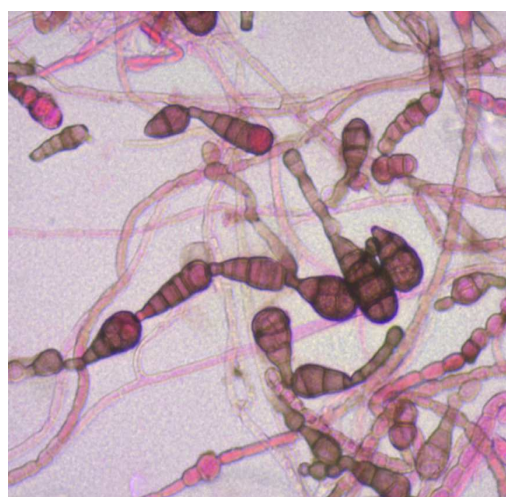
Após os procedimentos laboratoriais de pesagem, inoculação e incubação, as amostras retiradas da estufa apresentavam aspecto semelhante as imagens da letra a) e b), da Figura 32, que exibem a frente e o reverso da amostra original “A87”. Examinou-se, portanto, a riqueza e abundância das colônias de fungos presentes nesta placa, estabelecendo uma letra para cada colônia distinta e repicando-as quantas vezes fossem necessárias para o isolamento em culturas puras. Assim, pode-se visualizar pelas imagens das letras c) e d), a frente e o reverso de uma colônia já isolada, denominada “87e”.

A última etapa deste processo, na qual se prepararam as lâminas para identificação do fungo em microscópio ótico está apresentada na Figura 33.

Figura 33 – Análise microscópica de lâmina preparada com fragmento da amostra 87e



Lâmina do fungo “87e” em microscópio  
a)



Microscopia do fungo “87e” (400x)  
b)

Fonte: Elaborado pelo autor

De modo individual, foram observados os tempos de crescimento e o desenvolvimento das estruturas reprodutivas de cada uma das colônias isoladas, em razão da riqueza de fungos identificados e seus comportamentos variados. Por fim, realizaram-se as análises microscópicas conforme a letra a), que exibe a lâmina preparada com fragmento da colônia “87e”, e letra b), onde utilizou-se o microscópio ótico em um aumento de 400x para identificação dos fungos, no caso exemplo, de um *Alternaria* sp. Deste modo, obteve-se controle de todo o processo, desde a



origem até o final, o que possibilitou relacionar os fungos identificados aos exatos locais das fachadas em que foram coletados.

#### 4.1.2 Síntese dos Fungos Identificados nas Coletas 01 a 05

As datas de realização das coletas microbiológicas propostas abrangeram predominantemente as estações de primavera e verão, iniciadas no dia 18 de outubro de 2018 até o dia 22 de março de 2019.

Em resumo, a Tabela 13 apresenta, para cada coleta, a abundância de colônias que se desenvolveram nas culturas mistas, e aquelas efetivamente isoladas e identificadas a nível de gênero.

Tabela 13 – Resumo de dados obtidos nas Coletas 01 a 05

| N. Coleta | Data       | Amostras Originais (Culturas Mistas) | Abundância de Fungos | Fungos Isolados e Identificados | Riqueza de Gêneros |
|-----------|------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1         | 18/10/2018 | 1 a 12                               | 69                   | 42                              | 8                  |
| 2         | 04/12/2018 | 13 a 24                              | 17                   | 12                              | 4                  |
| 3         | 11/12/2018 | 25 a 36                              | 17                   | 6                               | 6                  |
| 4         | 10/01/2019 | 37 a 72                              | 49                   | 23                              | 8                  |
| 5         | 22/03/2019 | 73 a 108                             | 50                   | 24                              | 7                  |

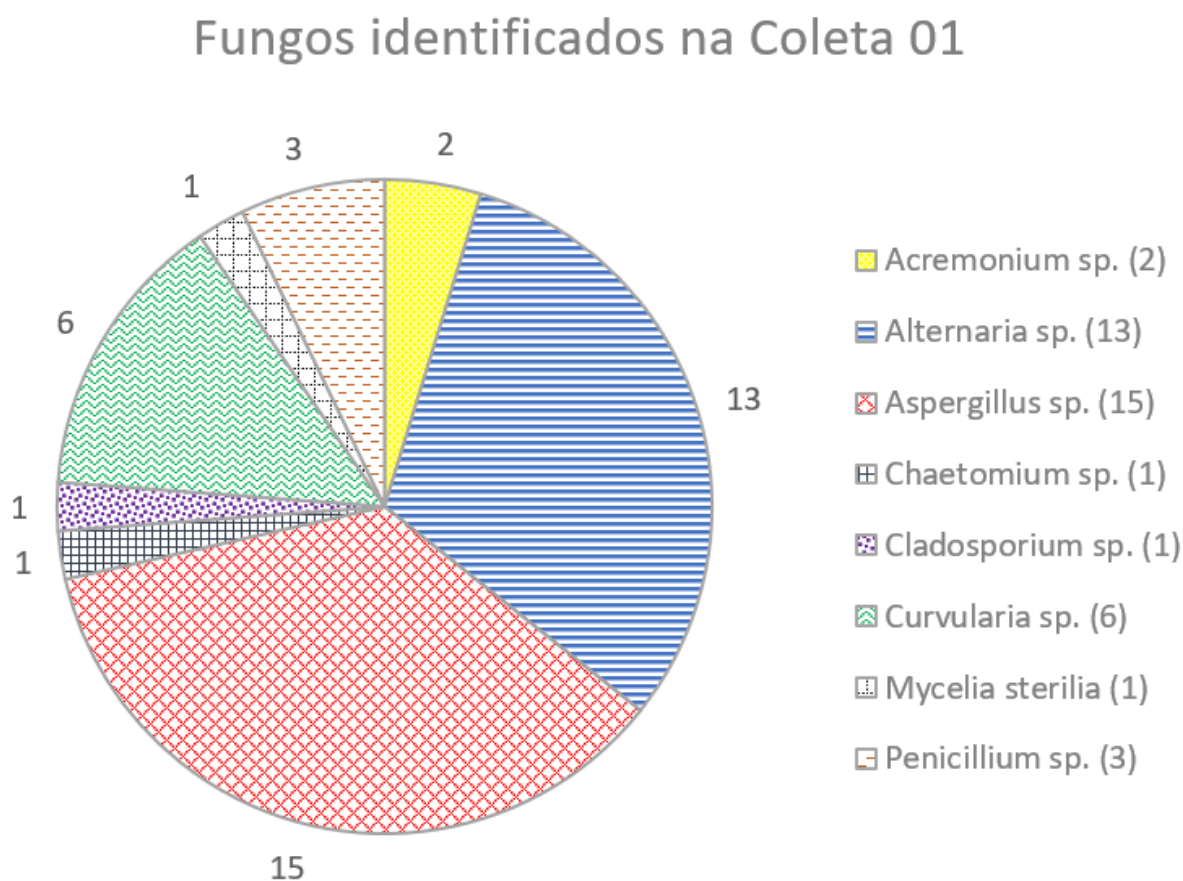
Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 13, percebe-se que a maior quantidade de colônias e gêneros de fungos ocorreram na Coleta 01, quando se avaliaram as condições originais das fachadas. Em comparação, tanto um dia, quanto sete dias após a limpeza, os números de colônias reduziram significativamente em relação a Coleta 01, conforme esperado. Entre si, no entanto, houve bastante similaridades entre as Coletas 02 e 03. Quanto ao procedimento de repintura com as Tintas A e B, nota-se que a partir da Coleta 04 e 05, o número de colônias isoladas torna a subir, porém, neste caso, devem ser considerados o maior número de amostragens em campo em função da avaliação dos tratamentos (ST, TA e TB). Os resultados serão melhores apresentados ao longo deste capítulo.



Neste contexto, a Figura 35 apresenta o resumo dos dados de abundância e riqueza de fungos obtidos na primeira coleta.

Figura 34 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 01



Fonte: Elaborado pelo autor

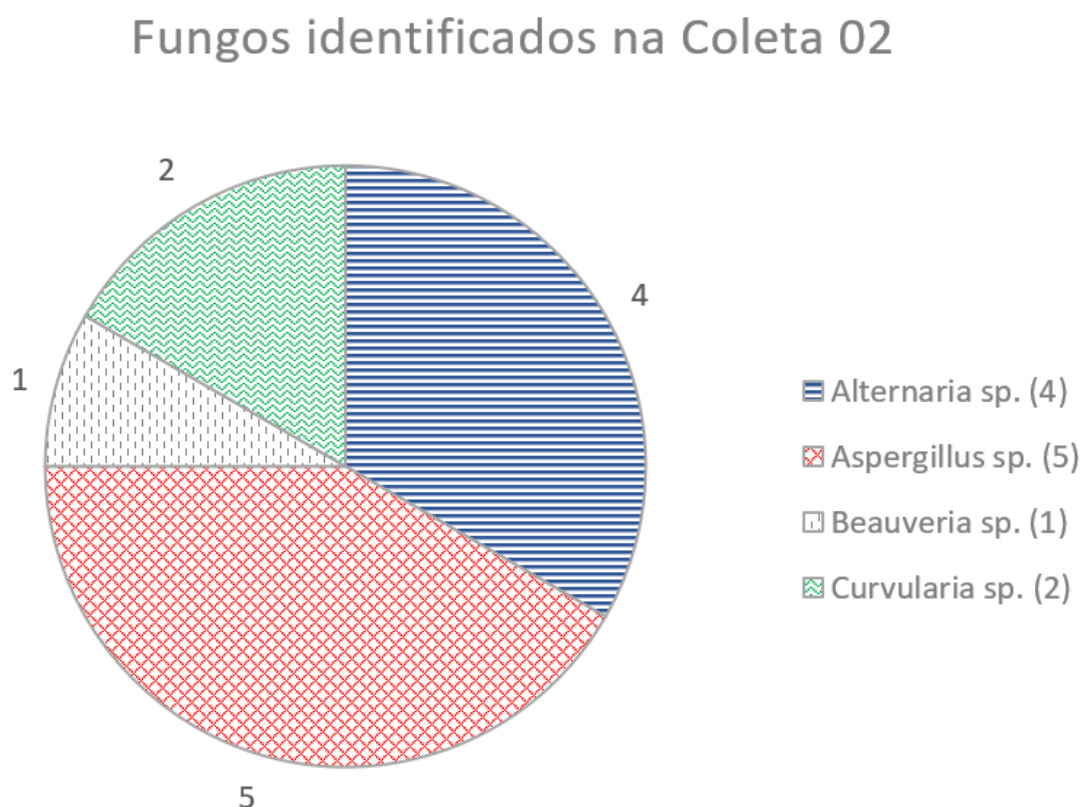
A Coleta 01 foi realizada em 18 de outubro de 2018, às 11h, em dia ensolarado, com temperatura de 24°C e umidade relativa do ar de 66%. Coletaram-se, na ocasião, as amostras originais numeradas de 1 a 12. Destas, foram realizados o isolamento de 69 colônias de fungos, das quais identificaram-se 42 pertencentes a 8 gêneros distintos. Os fungos *Acremonium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Mycelia sterilia* e *Penicillium* sp., compõem a riqueza dos gêneros identificados nesta coleta.

Ainda, de acordo com a Figura 34, é possível observar que os fungos predominantes na Coleta 01, ou seja, aqueles que apresentaram maior abundância de colônias dentre os sistemas de fachadas avaliados foram *Aspergillus* sp. e

*Alternaria* sp., com um total de 15 e 13 colônias isoladas das amostras originais 1 a 12, respectivamente.

O resumo dos dados de riqueza e abundância de fungos da segunda coleta está apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 02



Fonte: Elaborado pelo autor

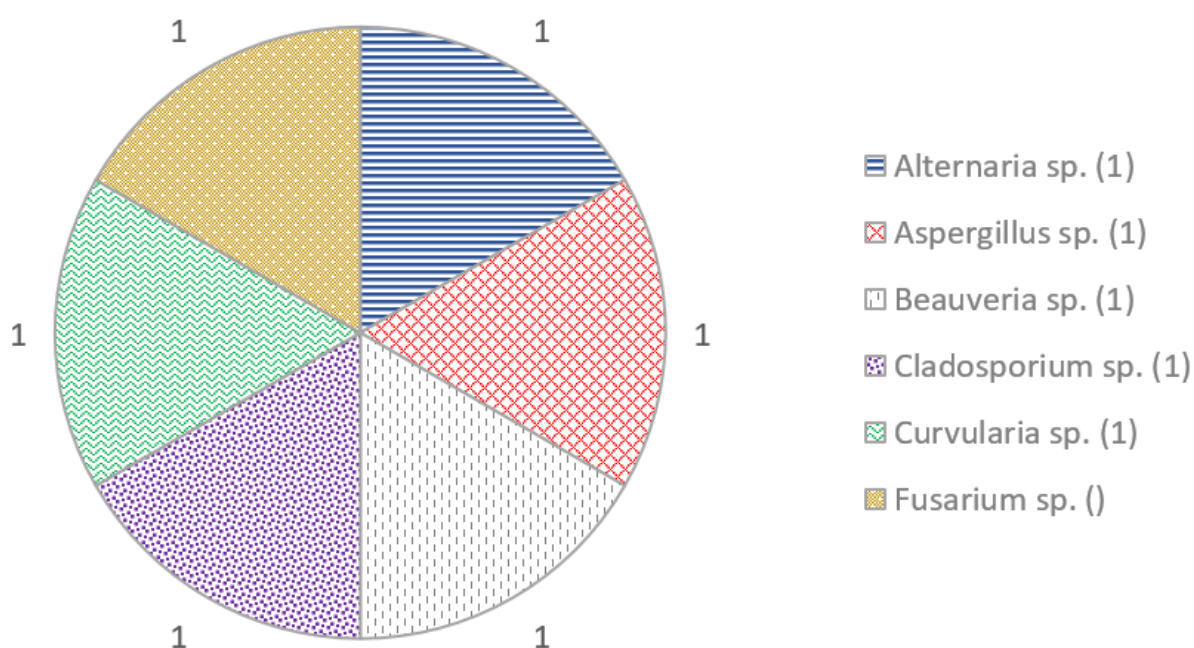
A Coleta 02 ocorreu 1 dia após o procedimento de limpeza e desinfecção das edificações na data de 04 de dezembro de 2018, às 15h, em dia ensolarado, com temperatura de 30°C e umidade relativa do ar de 42%. Coletaram-se novamente 12 amostras, numeradas sequencialmente, de 13 a 24. Nestas, observaram-se 17 colônias de fungos, das quais efetivamente 12 foram isoladas, de 4 gêneros distintos. Para este caso, os fungos identificados foram: *Alternaria* sp. *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp. e *Curvularia* sp.

Verificou-se que os fungos predominantes na Coleta 02 novamente foram *Aspergillus* sp. e *Alternaria* sp., porém, em quantidade de colônias isoladas reduzidas para 5 e 4, respectivamente, provenientes das amostras originais 13 a 24.

A Figura 36 apresenta o resumo dos dados de riqueza e abundância de fungos obtidos na terceira coleta.

Figura 36 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 03

### Fungos identificados na Coleta 03



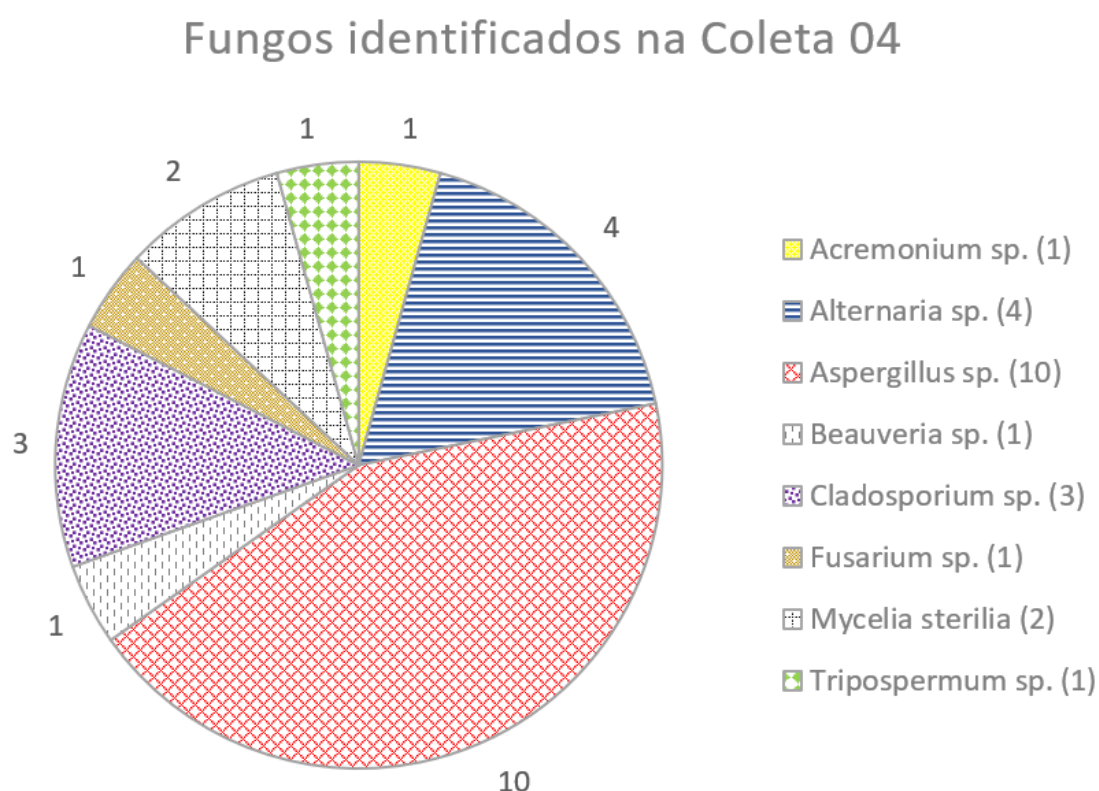
Fonte: Elaborado pelo autor

A Coleta 03 foi realizada 7 dias após o procedimento de limpeza e desinfecção das edificações, na data de 11 de dezembro de 2018, às 16h, em dia ensolarado, com temperatura de 32°C e umidade relativa do ar de 56%. Pela última vez, a coleta compreendeu um número de 12 amostras originais recolhidas em campo, numeradas de 25 a 36. Obteve-se, assim como na coleta anterior, uma abundância de 17 colônias de fungos, em sua grande maioria de desenvolvimento lento, com pouca ou nenhuma esporulação. Em função disto, houve dificuldade na identificação, mesmo a nível de gênero, sendo isolados um total de 6 fungos pertencentes a 6 gêneros distintos. São eles: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp. e *Fusarium* sp., este último, identificado pela primeira vez deste o início das coletas.

Não houve predominância de nenhum dos fungos nesta coleta, visto que foram identificadas apenas uma colônia de cada gênero dentre as amostras originais 25 a 36.

O resumo de dados de riqueza e abundância de fungos da quarta coleta está apresentado na Figura 37.

Figura 37 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 04



Fonte: Elaborado pelo autor

A Coleta 04 foi realizada 30 dias após o procedimento de repintura, sendo a primeira a avaliar as situações das fachadas Sem Tratamento (ST), pintadas com Tinta A (TA) e com Tinta B (TB). Esta, ocorreu na data de 10 de janeiro de 2019, às 11h, em dia chuvoso, com temperatura de 24°C e umidade relativa ar de 90%. Neste caso, o número de amostras coletadas aumentou para 36, numeradas em sequência de 37 a 72. Proporcionalmente a isto, houve também um aumento na abundância, sendo observadas 49 colônias, das quais isolaram-se 23, de 8 gêneros distintos. Os fungos *Acremonium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Mycelia sterilia* e *Tripospermum* sp., compõem a riqueza dos

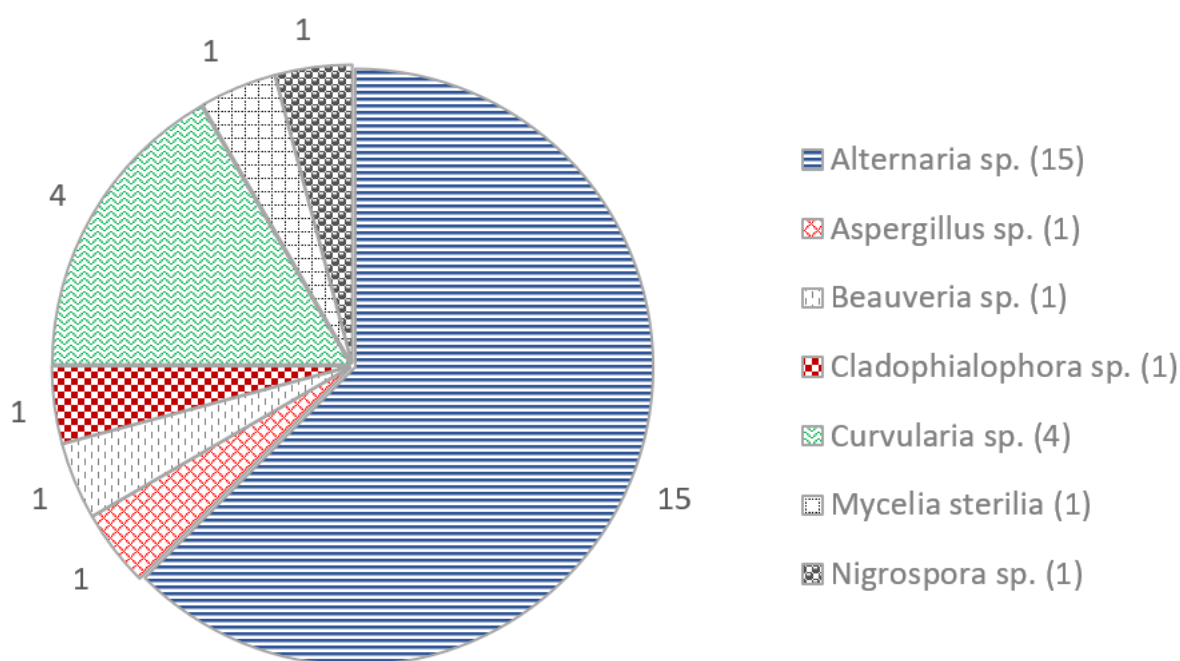
gêneros identificados. Salienta-se que o fungo do gênero *Tripospermum* foi identificado única e exclusivamente nesta coleta.

Observa-se que os fungos predominantes na Coleta 04 foram *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp. e *Cladosporium* sp., com uma quantidade de 10, 4 e 3 colônias isoladas, respectivamente, das amostras originais 37 a 72.

Para a quinta e última coleta microbiológica, o resumo dos dados de riqueza e abundância de fungos está apresentado na Figura 38.

Figura 38 – Dados de riqueza e abundância de fungos na Coleta 05

### Fungos identificados na Coleta 05



Fonte: Elaborado pelo autor

A Coleta 05 foi realizada 101 dias após a repintura, na data de 22 de março de 2019, às 11h, em dia ensolarado, com temperatura de 26°C e umidade relativa do ar de 66%. Igualmente a coleta anterior, recolheu-se para a análise das situações (ST, TA e TB), 36 amostras em campo, numeradas de 73 a 108. Verificou-se, na ocasião, uma abundância de 50 colônias, sendo 24 efetivamente isoladas de 7 gêneros distintos. Os fungos presentes nesta coleta foram: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladophialophora* sp., *Curvularia* sp., *Mycelia sterilia* e *Nigrospora* sp. Novamente, fungos que até então não haviam sido encontrados

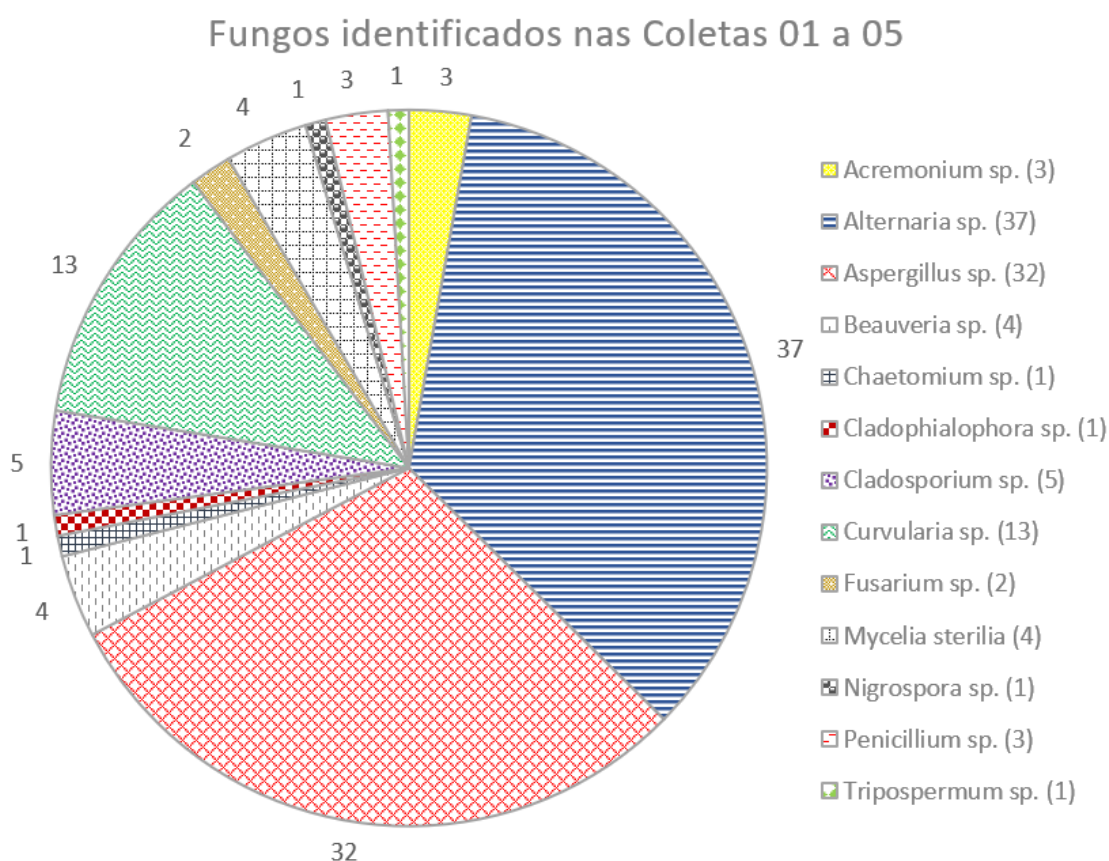


foram identificados, sendo neste caso, colônias de *Cladophialophora* sp. e *Nigrospora* sp.

Por meio da Figura 38, é possível visualizar a predominância do gênero *Alternaria*, seguido do fungo *Curvularia* sp., com uma quantidade de 15 e 4 colônias isoladas, respectivamente, das amostras originais 73 a 108. Ressalta-se que apenas nesta coleta, o fungo *Aspergillus* sp. não apresentou a maior quantidade de colônias isoladas.

Por fim, a Figura 39 apresenta o resumo das Coletas 01 a 05, em termos de abundância e riqueza de gêneros de fungos.

Figura 39 – Dados de riqueza e abundância de fungos nas Coletas 01 a 05



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas cinco coletas realizadas nas estações de verão e primavera foram colhidas em campo amostras originais de culturas mistas, numeradas de 1 a 108, das quais foram efetivamente isoladas 107 colônias, de 13 gêneros distintos, conforme visualiza-se na Figura 39. Os fungos identificados, em ordem decrescente de abundância foram: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Curvularia* sp., *Cladosporium*

sp., *Beauveria* sp., *Mycelia sterilia*, *Acremonium* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., *Cladophialophora* sp., *Nigrospora* sp. e *Tripaspermum* sp.

Nota-se uma grande predominância dos fungos *Alternaria* sp. e *Aspergillus* sp., seguidos do *Curvularia* sp., com uma quantidade de 37, 32 e 13 colônias isoladas, respectivamente, das amostras originais 1 a 108. Os demais fungos apresentaram quantidades de colônias bastante inferiores, tais como *Chaetomium* sp., *Cladophialophora* sp., *Nigrospora* sp. e *Tripaspermum* sp., com apenas uma colônia isolada ao longo das cinco coletas.

Tanto as revisões de literatura apresentadas por Gaylarde e Morton (1999) e Ferrari *et al.* (2015), quanto as pesquisas aplicadas de Shirakawa *et al.* (2002), Silva (2009), Aina *et al.* (2011) e Abdel-Rahim *et al.* (2018), apresentaram em sua maioria, os mesmos gêneros de fungos encontrados nesta pesquisa.

De forma complementar, isto vai ao encontro das pesquisas de Mezzari *et al.* (2002), Menezes *et al.* (2004) e Schulte, Wingender e Flemming (2004), que destacam a maior presença de esporos no ar dos fungos *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. e *Nigrospora* sp., corroborando a existência de uma relação direta com os colonizadores de revestimentos externos. Ocorre que, o vento, como meio de dispersão, deposita esporos destes fungos sobre as películas das tintas, dando início ao ciclo de reprodução assexuada.

Dada a análise geral da riqueza e abundância dos fungos nas coletas microbiológicas, a Tabela 14 possibilita uma arguição mais detalhada a respeito dos comportamentos de cada gênero, visto que indica a presença (+), ou não, de colônias isoladas por prédios, fachadas e tratamentos.

Tabela 14 – Gêneros de fungos identificados nos prédios B13 e D07 nas Coletas 01 a 05

| Coleta                  | 1       | 2       | 3       | 4                                   | 5                                   |
|-------------------------|---------|---------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Edificação              | D07 B13 | D07 B13 | D07 B13 | D07 B13                             | D07 B13                             |
| Orientação Solar        | N S N S | N S N S | N S N S | N S N S                             | N S N S                             |
| Tratamento              | ST      |         |         | ST TA TB ST TA TB ST TA TB ST TA TB | ST TA TB ST TA TB ST TA TB ST TA TB |
| Gênero do Fungo         |         |         |         |                                     |                                     |
| <i>Acremonium</i>       | +       | +       |         | +                                   |                                     |
| <i>Alternaria</i>       | +       | +       | +       | +                                   | +                                   |
| <i>Aspergillus</i>      | +       | +       | +       | +                                   | +                                   |
| <i>Beauveria</i>        |         | +       | +       | +                                   | +                                   |
| <i>Chaetomium</i>       | +       |         |         |                                     |                                     |
| <i>Cladophialophora</i> |         |         |         |                                     | +                                   |
| <i>Cladosporium</i>     | +       |         | +       | +                                   | +                                   |
| <i>Curvularia</i>       | +       | +       | +       |                                     | +                                   |
| <i>Fusarium</i>         |         |         | +       | +                                   |                                     |
| <i>Mycelia sterilia</i> | +       |         |         | +                                   | +                                   |
| <i>Nigrospora</i>       |         |         |         |                                     | +                                   |
| <i>Penicillium</i>      | +       | +       |         |                                     |                                     |
| <i>Tripospermum</i>     |         |         |         | +                                   |                                     |

Fonte: Elaborado pelo autor



A Tabela 14 apresenta um resumo das análises microbiológicas realizadas durante a pesquisa, exibindo todas as informações necessárias para que se avalie possíveis padrões de comportamento destes fungos nas diferentes variáveis (edificação, orientação solar, tratamentos) propostas.

Os fungos do gênero *Acremonium* foram encontrados em superfícies pintadas e relatados nas revisões de Gaylarde e Morton (1999) e Ferrari *et al.* (2015), e ainda, na pesquisa de Aina *et al.* (2011). Para este trabalho, identificaram-se colônias de *Acremonium* sp. na primeira coleta em ambos os prédios D07 e B13, nas fachadas de orientação norte. Contudo, após a limpeza e desinfecção destas fachadas, não foram mais observadas colônias deste fungo, reaparecendo novamente na quarta coleta, em fachada sul do prédio B13, também na condição sem tratamento. Sabe-se que é característica do *Acremonium* sp. a baixa esporulação, o que pode justificar a colonização tardia em biofilmes já maduros. Este fungo não se desenvolveu em nenhuma das áreas pintadas com Tintas A e B, o que também pode sugerir uma ação eficaz dos compostos fungicidas.

Os fungos *Alternaria* sp. também foram citados por diferentes autores em superfícies pintadas, como Gaylarde e Morton (1999), Shirakawa *et al.* (2002), Silva (2009), Aina *et al.* (2011) e Ferrari *et al.* (2015), revelando-se nesta pesquisa como o principal colonizador das fachadas inspecionadas, frequente em todas as coletas. De fato, além de uma alta produção de esporos, Urzì e De Leo (2007), destacam a versatilidade metabólica e características morfológicas do gênero, que lhes permite viver sob condições oligotróficas. Verificou-se uma diferença considerável na presença de *Alternaria* sp. entre os dois prédios D07 e B13, sendo no primeiro, verificada a maior abundância de colônias. Na Coleta 05, por exemplo, foram isoladas 15 colônias de *Alternaria* sp., todas provenientes do prédio D07. Na análise dos tipos de tratamentos, constatou-se o desenvolvimento deste fungo sobre a Tinta B em apenas em uma situação (Coleta 05, prédio D07, orientação norte), diferentemente das situações ST e TA, o que pode indicar uma ação mais efetiva dos biocidas da composição da Tinta B na inibição do seu crescimento.

Os fungos *Aspergillus* sp., entre os mais citados nas pesquisas de Shirakawa *et al.* (2002), Silva (2009), Aina *et al.* (2011) e Abdel-Rahim *et al.* (2018), foram predominantes nas Coletas 01, 02 e 04 desta pesquisa. Na Coleta 04, isolaram-se colônias em todas as situações propostas (ST, TA e TB), demonstrando uma sensibilidade das tintas A e B quanto a sua proliferação e desenvolvimento.

Ressalta-se ainda que na Coleta 02, um dia após o procedimento de limpeza e desinfecção, o *Aspergillus* sp. foi único fungo observado em todas as fachadas. Isto pode estar relacionado a sua alta produção de esporos, que como visto nos trabalhos de Mezzari *et al.* (2002), Menezes *et al.* (2004) e Schulte, Wingender e Flemming (2004), estão presentes no ar, que os transporta e os deposita sobre o substrato.

Os fungos *Beauveria* sp. apresentaram um padrão de comportamento interessante, sendo identificadas suas colônias nas Coletas 02, 03, 04 e 05, todas na fachada norte do prédio D07. Sugere-se que algum fator intrínseco a este local possa favorecer o desenvolvimento deste fungo entomopatogênico, normalmente associados aos insetos.

Os fungos *Cladosporium* sp., citados nos trabalhos de Shirakawa *et al.* (2002) e Silva (2009) como o principal atuante na deterioração de pinturas de fachadas, não apresentou abundância expressiva nesta pesquisa. Pode-se atribuir tal fato aos apontamentos de Purchio *et al.* (1984) e Purchio, Gambale e Paula (1989) nos quais observaram o predomínio de *Cladosporium* durante meses frios. De fato, o INSPQ (2016) ressalta que algumas espécies possuem maior resistência em ambientes frios, mantendo crescimento inclusive abaixo de 0°C.

Os fungos *Curvularia* sp. foram isolados nos prédios D07 e B13, desenvolvendo-se em ambas as orientações e situações de tratamento (ST, TA e TB). Considerando as Coletas 01 a 05, foi aquele no qual apresentou a terceira maior quantidade de colônias isoladas, destacando-se como um dos principais colonizadores das fachadas. Sabe-se que, em sua grande maioria, são decompositores de solo ou patógenos de plantas, podendo esta abundância estar relacionada com a vegetação local.

Os fungos *Fusarium* sp. foram identificados, tão somente, em duas coletas no prédio D07, uma na fachada norte, outra na sul. Devido ao número restrito de colônias, não é possível analisar algum padrão ou comportamento para tal. O INSPQ (2016) destaca que a maior produção de esporos deste fungo ocorre no verão, buscando ambientes de umidades altas e deteriorados. Sendo assim, o período em que as coletas foram efetuadas teoricamente era propício ao desenvolvimento de suas colônias, especialmente nas condições originais onde as fachadas encontravam-se biodeterioradas.

Por fim, destacam-se os fungos *Chaetomium* sp., *Penicillium* sp., *Cladophialophora* sp. e *Tripaspermum* sp., que foram identificados em apenas uma coleta ao longo desta pesquisa, impossibilitando discutir qualquer relação com as variáveis. Sabe-se, apenas, que estes possivelmente estão presentes nos biofilmes formados nos prédios analisados.

Ravikumar *et al.* (2012) e Ishfaq *et al.* (2015) indicaram a importância de alguns dos fungos citados, nos processos degradativos de matéria orgânica, dentre eles, *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. e *Chaetomium* sp.

O fato é que, para realizar análises mais precisas dos fungos é preciso estender o período de análises, com coletas contínuas, para que se corroborem alguns padrões de comportamento sugeridos. Ainda, evidencia-se o estudo de Shirakawa *et al.* (2002), que avaliou edificações de forma bastante semelhante a esta pesquisa e concluiu que a aplicação de biocida reduziu significativamente a população fúngica após a 13ª semana, e permaneceu assim até a 42ª semana. Relacionando ao período de análises previsto, este abrangeu após a pintura com Tintas A e B, coletas entre a 5ª e a 15ª semana, evidenciando um potencial de resultados com a continuidade das análises.

#### **4.1.3 Avaliação dos Fungos nos Sistemas de Fachadas das Edificações**

Discute-se as análises dos dados de abundância e riqueza dos fungos nos prédios (D07 e B13), nas fachadas (N e S) e nas situações de tratamentos (ST, TA e TB, propostos a partir da Coleta 04, com estatística aplicada aos dados para verificação da existência, ou não, de diferenças significativas entre as variáveis independentes com base nas hipóteses nulas. As discussões foram realizadas separadamente para abundância, e posteriormente, para riqueza dos fungos.

##### **4.1.3.1 Análises da abundância de fungos nas edificações**

Os dados da abundância discutidos a seguir abrangem o total de colônias isoladas ao longo das cinco coletas, inclusive as dos gêneros não identificados por alguma razão, mas que contribuíram na colonização dos sistemas de fachadas. Inicialmente, realizaram-se tratamentos estatísticos básicos nos dados das amostras

em triplicata, obtendo os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação expressos pela Tabela 15.

Tabela 15 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos das amostras em triplicata das Coletas 01 a 05

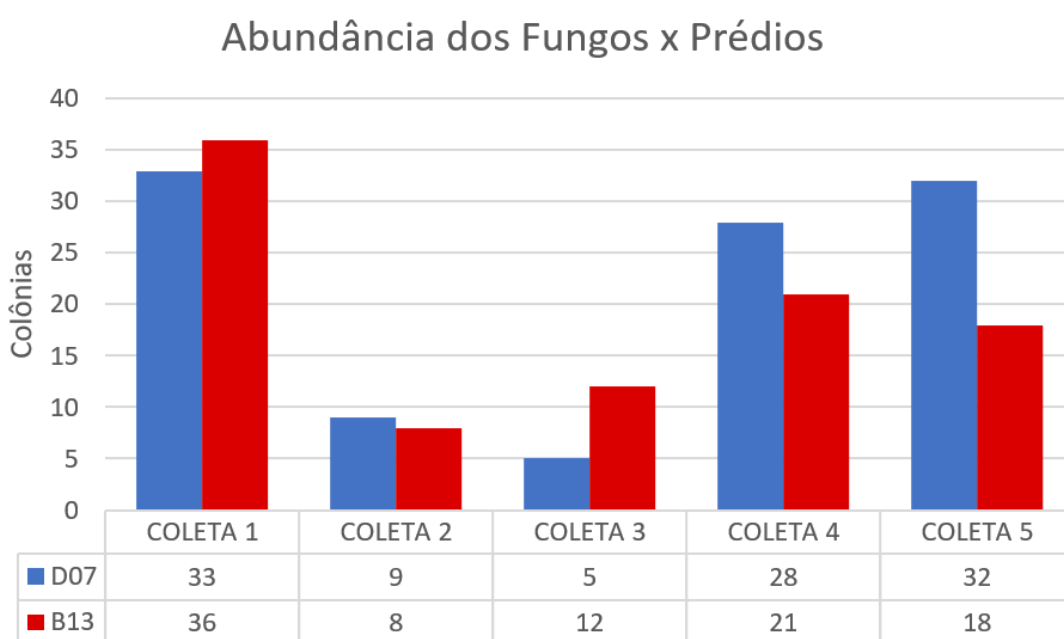
| Coleta | Amostra | Abundância |      |        |
|--------|---------|------------|------|--------|
|        |         | Média      | DP   | CV     |
| 1      | D07N ST | 4,00       | 2,00 | 50,0%  |
|        | D07S ST | 2,67       | 1,53 | 57,3%  |
|        | B13N ST | 6,00       | 1,00 | 16,7%  |
|        | B13S ST | 1,33       | 2,31 | 173,2% |
| 2      | D07N ST | 1,33       | 0,58 | 43,3%  |
|        | D07S ST | 1,33       | 1,53 | 114,6% |
|        | B13N ST | 1,00       | 1,00 | 100,0% |
|        | B13S ST | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
| 3      | D07N ST | 0,67       | 0,58 | 86,6%  |
|        | D07S ST | 1,00       | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N ST | 0,00       | 0,00 | -      |
|        | B13S ST | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
| 4      | D07N ST | 0,67       | 1,15 | 173,2% |
|        | D07N TA | 1,00       | 0,00 | 0,0%   |
|        | D07N TB | 1,33       | 0,58 | 43,3%  |
|        | D07S ST | 1,00       | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S TA | 0,67       | 1,15 | 173,2% |
|        | D07S TB | 0,67       | 0,58 | 86,6%  |
|        | B13N ST | 0,00       | 0,00 | -      |
|        | B13N TA | 0,00       | 0,00 | -      |
|        | B13N TB | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S ST | 1,00       | 1,00 | 100,0% |
|        | B13S TA | 0,67       | 0,58 | 86,6%  |
|        | B13S TB | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
| 5      | D07N ST | 1,67       | 0,58 | 34,6%  |
|        | D07N TA | 2,00       | 1,73 | 86,6%  |
|        | D07N TB | 1,00       | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S ST | 1,00       | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S TA | 1,33       | 1,53 | 114,6% |
|        | D07S TB | 0,00       | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N ST | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
|        | B13N TA | 0,00       | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N TB | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S ST | 0,33       | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S TA | 0,00       | 0,00 | -      |
|        | B13S TB | 0,00       | 0,00 | -      |

Fonte: Elaborado pelo autor

Constata-se ao examinar a Tabela 15, que sobretudo no prédio B13 identificou-se relativa heterogeneidade no conjunto de dados das amostras em triplicata, visto que o coeficiente de variação (CV) para abundância das colônias isoladas atingiu valores altos em pelo menos 40% das amostragens. Estes resultados servem de base para as análises da abundância apresentadas a seguir.

Primeiramente foram comparados os prédios D07 e B13, no que diz respeito a quantidade total de colônias isoladas das Coletas 01 a 05, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Abundância de fungos nos prédios D07 e B13



Fonte: Elaborado pelo autor

Constata-se ao observar a Figura 40, que a quantidade de colônias isoladas foi semelhante entre os dois prédios ao longo das cinco coletas, com maiores diferenças nas Coletas 04 e 05. Além disso, fica evidente a menor abundância de fungos após o procedimento de limpeza, analisada por meio das Coletas 02 e 03, e depois, novamente um aumento gradativo ao longo do tempo.

A Tabela 16 exibe os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação dos dados de cada prédio, obtidos a partir da soma dos resultados das fachadas norte e sul apresentados anteriormente pela Tabela 15.

Tabela 16 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos em prédios D07 e B13

| Coleta | Prédio | Abundância |      |        |
|--------|--------|------------|------|--------|
|        |        | Média      | DP   | CV     |
| 1      | D07    | 3,33       | 0,33 | 10,0%  |
|        | B13    | 3,67       | 0,93 | 25,3%  |
| 2      | D07    | 1,33       | 0,67 | 50,4%  |
|        | B13    | 0,67       | 0,30 | 44,8%  |
| 3      | D07    | 0,83       | 0,41 | 49,0%  |
|        | B13    | 0,17       | 0,41 | 244,9% |
| 4      | D07    | 0,89       | 0,74 | 83,7%  |
|        | B13    | 0,39       | 0,46 | 117,1% |
| 5      | D07    | 1,17       | 0,97 | 83,4%  |
|        | B13    | 0,17       | 0,29 | 173,2% |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com isto, entende-se que a edificação B13 apresentou os maiores coeficientes de variação quando analisada a abundância de colônias de fungos, retratando uma maior heterogeneidade do conjunto de dados referentes a este prédio, em comparação a D07.

Aplicou-se, então, o teste estatístico ANOVA para análise de variância entre os dois prédios, apresentado pela Tabela 17.

Tabela 17 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado aos prédios D07 e B13, admitindo a abundância como variável dependente

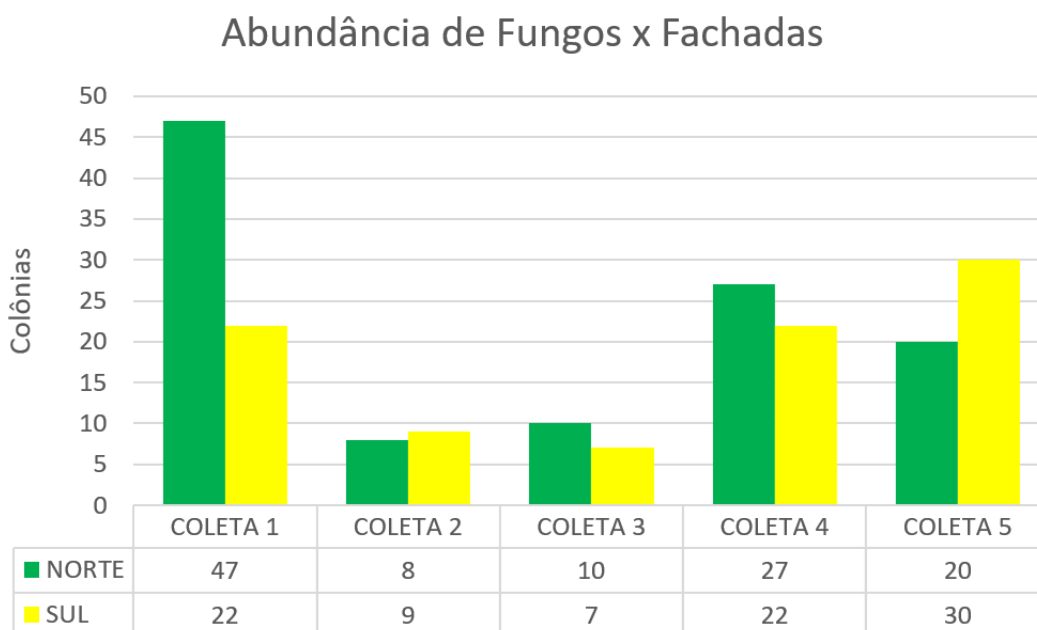
|              | Soma dos Quadrados | Df  | Quadrado Médio | Z     | Sig   |
|--------------|--------------------|-----|----------------|-------|-------|
| Entre grupos | 10,083             | 1   | 10,083         | 5,268 | 0,024 |
| Nos grupos   | 202,907            | 106 | 1,914          |       |       |
| Total        | 212,991            | 107 |                |       |       |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância calculado foi menor que 0,05, rejeitando-se a hipótese nula ( $H_0$ ), e concluindo, portanto, que existem diferenças significativas entre a abundância de fungos entre os prédios D07 e B13.

Na sequência, foram analisadas as duas orientações solares, norte e sul, com o auxílio da Figura 41, que indica a quantidade de colônias de fungos isolados nas duas edificações, por fachada.

Figura 41 – Abundância de fungos nas fachadas de orientação Norte e Sul



Fonte: Elaborado pelo autor

Em princípio, percebe-se uma disparidade na quantidade de colônias de fungos isolados apenas na Coleta 01, quando os prédios se encontravam sob as condições originais. Na ocasião, a fachada norte apresentou mais que o dobro de colônias em relação a sul, conforme exibido na Figura 41. Posteriormente, a quantidade de colônias isoladas entre as fachadas se equivaleu. É possível que com o decorrer do tempo, esta disparidade volte a ocorrer, contudo, não foi observada dentro do período limite desta pesquisa.

Apesar dos estudos de Shirakawa *et al.* (2010), Sato *et al.* (2008) e Junior e Carasek (2014) apresentarem maior colonização fúngica nas fachadas de orientação sul, em função das condições mais frias e úmidas e menor incidência de iluminação, isto não foi observado durante o período analisado. Porém, visualmente, a biodeterioração das fachadas sul foi superior as de orientação norte, com biofilmes de pigmentação mais escuras.

A Tabela 18 refere-se aos valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação, somando, desta vez, os resultados das fachadas norte de D07 e B13 em cada coleta, e realizando o mesmo para orientação sul, com base nos dados da Tabela 15.

Tabela 18 – Valores médios, DP, e CV para abundância dos fungos em fachadas norte e sul

| Coleta | Fachadas | Abundância |      |        |
|--------|----------|------------|------|--------|
|        |          | Média      | DP   | CV     |
| 1      | Norte    | 5,00       | 1,50 | 30,0%  |
|        | Sul      | 2,00       | 1,92 | 95,9%  |
| 2      | Norte    | 1,17       | 0,79 | 67,6%  |
|        | Sul      | 0,83       | 1,05 | 126,3% |
| 3      | Norte    | 0,33       | 0,29 | 86,6%  |
|        | Sul      | 0,67       | 0,29 | 43,3%  |
| 4      | Norte    | 0,56       | 0,38 | 69,3%  |
|        | Sul      | 0,72       | 0,81 | 112,8% |
| 5      | Norte    | 0,89       | 0,74 | 83,7%  |
|        | Sul      | 0,44       | 0,52 | 116,4% |

Fonte: Elaborado pelo autor

A maior dispersão do conjunto de dados ocorreu nas fachadas sul, mais precisamente em quatro das cinco coletas, quando comparadas às duas orientações.

Afim de avaliar estatisticamente a abundância de fungos nas fachadas, aplicou-se a análise de variância por meio de teste estatístico ANOVA, apresentado pela Tabela 19.

Tabela 19 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em fachadas, admitindo a abundância como variável dependente

|              | Soma dos Quadrados | Df  | Quadrado Médio | Z     | Sig   |
|--------------|--------------------|-----|----------------|-------|-------|
| Entre grupos | 4,898              | 1   | 4,898          | 2,495 | 0,117 |
| Nos grupos   | 208,093            | 106 | 1,963          |       |       |
| Total        | 212,991            | 107 |                |       |       |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância, desta vez, foi maior que 0,05, e por isso, aceitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ), não havendo diferenças significativas entre a abundância de colônias de fungos isoladas nas fachadas norte e sul.



Além disso, comparou-se a Coleta 01, nas condições originais, e Coleta 02, após a limpeza e desinfecção, por meio do teste estatístico ANOVA apresentado pela Tabela 20, para verificar se existiu alguma influência deste fator na abundância.

Tabela 20 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em limpeza, admitindo a abundância como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 62,000                    | 2         | 31,000                | 13,824   | 0,000      |
| Nos grupos   | 74,000                    | 33        | 2,242                 |          |            |
| Total        | 136,000                   | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância foi menor que 0,05, e, portanto, rejeitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ), concluindo que existem diferenças significativas entre a abundância dos fungos antes e depois da limpeza.

Aplicou-se também o teste de Tukey, apresentado pela Tabela 21, para comparações múltiplas entre as Coletas 01, 02 e 03, nas condições originais e depois de um e sete dias do procedimento de limpeza.

Tabela 21 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre as condições originais e após a limpeza das fachadas, considerando a abundância como variável dependente

| <b>Amostra<sup>1</sup></b> |   | <b>Diferença média</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Sig.</b> | <b>Intervalo de Confiança 95%</b> |                        |
|----------------------------|---|------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------|
|                            |   |                        |                    |             | <b>Limite inferior</b>            | <b>Limite superior</b> |
| 0                          | 1 | 2,500                  | 0,611              | 0,001       | 1,00                              | 4,00                   |
|                            | 7 | 3,000                  | 0,611              | 0,000       | 1,50                              | 4,50                   |
| 1                          | 0 | -2,500                 | 0,611              | 0,001       | -4,00                             | -1,00                  |
|                            | 7 | 0,500                  | 0,611              | 0,695       | -1,00                             | 2,00                   |
| 7                          | 0 | -3,000                 | ,0611              | 0,000       | -4,50                             | -1,50                  |
|                            | 1 | -0,500                 | ,0611              | 0,695       | -2,00                             | 1,00                   |

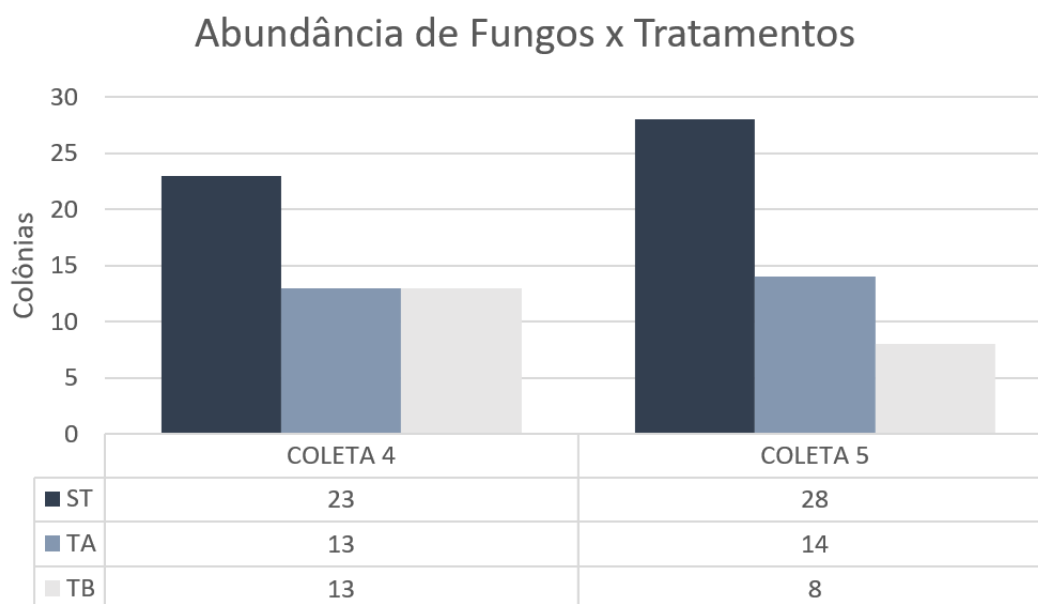
<sup>1</sup>Os números indicados nestas colunas como Amostras representam os dias nas Coletas 01, 02 e 03 (0, 1 e 7 dias)

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se pela Tabela 21, que na comparação das amostras 0 e 1 e 0 e 7, e vice versa, sendo “0” o número que representa as condições originais, “1”, que representa a limpeza depois de um dia, e “7”, depois de sete dias, rejeitaram-se a hipótese nula ( $H_0$ ) em ambas as situações, havendo diferenças significativas em todos estes casos. De fato, os procedimentos de limpeza influenciaram positivamente na redução da quantidade de colônias isoladas. Porém, na comparação entre um e sete dias após a limpeza, os resultados indicaram a não existência de diferenças significativas.

Posteriormente, avaliaram-se os procedimentos de pintura com Tinta A e B, realizados nas Coletas 04 e 05. A Figura 42 apresenta a quantidade de colônias de fungos isolados nas áreas Sem Tratamento (ST), pintadas com Tinta A (TA) e pintadas com Tinta B (TB).

Figura 42 – Abundância de fungos nas situações Sem Tratamento (ST), com Tinta A (TA) e com Tinta B (TB).



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Figura 42, pode-se dizer que as áreas Sem Tratamento (ST), limpas e desinfetadas, mas não repintadas, desenvolveram aproximadamente duas vezes mais colônias de fungos do que as áreas pintadas com Tinta A (TA) e Tinta B (TB). Na comparação entre tintas, em termos de abundância, visualiza-se na Coleta 04, ocorrida aproximadamente na 5ª semana, que o número de colônias isoladas foi

exatamente o mesmo. Porém, em torno da 15ª semana, na qual ocorreu a Coleta 05, já percebe-se esta diferença entre tintas (TA e TB), corroborando os resultados de Shirakawa *et al.* (2002) com relação a eficiência dos biocidas a partir da 13ª semana. Nesta última coleta, conforme esperado, a situação Sem Tratamento (ST) teve a maior abundância de fungos e a área pintada com Tinta B (TB), a menor.

A Tabela 22 apresenta os resultados da aplicação do teste de Tukey para comparações múltiplas entre as áreas Sem Tratamento (ST) e pintadas com Tintas A (TA) e B (TB), na Coleta 04, após 30 dias.

Tabela 22 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre os tipos de tratamentos, admitindo a abundância como variável dependente

| Amostra <sup>1</sup> |   | Diferença<br>média | Erro<br>Padrão | Sig.  | Intervalo de<br>Confiança 95% |                    |
|----------------------|---|--------------------|----------------|-------|-------------------------------|--------------------|
|                      |   |                    |                |       | Limite<br>inferior            | Limite<br>superior |
| 0                    | 1 | 0,592              | 0,333          | 0,182 | -0,20                         | 1,38               |
|                      | 2 | 0,800              | 0,333          | 0,047 | 0,01                          | 1,59               |
| 1                    | 0 | -0,592             | 0,333          | 0,182 | -1,38                         | 0,20               |
|                      | 2 | 0,208              | 0,398          | 0,860 | -0,74                         | 1,15               |
| 2                    | 0 | -0,800             | 0,333          | 0,047 | -1,59                         | -0,01              |
|                      | 1 | -0,208             | 0,398          | 0,860 | -1,15                         | 0,74               |

<sup>1</sup> Os números indicados nestas colunas como Amostras representam os tratamentos ST, TA e TB (0, 1 e 2), respectivamente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando efetuadas comparações múltiplas, os níveis de significância menores do que 0,05 ocorreram entre 0 e 2 e 2 e 0, sendo “0”, o valor de entrada que representa a situação Sem Tratamento (ST), e “2”, a situação de pintura com Tinta (B). Neste caso, rejeitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ) entre ST e TB, evidenciando diferenças significativas entre as áreas Sem Tratamento e aquelas pintadas com a Tinta B. Entretanto, aceitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ) entre as áreas ST e TA, e TA e TB, onde não houve diferenças significativas. Entende-se que mesmo não havendo diferenças significativas entre as tintas aplicadas, a Tinta B apresentou leve superioridade quando comparada a Tinta A, afirmação evidenciada quando as duas situações foram confrontadas com a situação Sem Tratamento (ST).

Buscando analisar os dados das duas tintas nas Coletas 04 e 05, o teste estatístico ANOVA comparou, primeiramente, as situações de tratamento com Tintas A e B na Coleta 04, após 30 dias da repintura, apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado as pinturas com Tintas A e B, após 30 dias (Coleta 04), admitindo a abundância como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 0,056                     | 2         | 0,028                 | 0,050    | 0,951      |
| Nos grupos   | 18,250                    | 33        | 0,553                 |          |            |
| Total        | 18,306                    | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste caso, o nível de significância calculado foi maior que 0,05, aceitando-se a hipótese nula ( $H_0$ ). Portanto, não houve diferenças significativas na abundância de colônias de fungos quando comparados os tratamentos com Tinta A e Tinta B para os dados da Coleta 04.

Da mesma forma, o teste estatístico ANOVA foi aplicado nas situações de tratamento com Tintas A e B para a Coleta 05, após 101 dias, de acordo com a Tabela 24.

Tabela 24 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado as pinturas com Tintas A e B, após 101 dias (Coleta 05), admitindo a abundância como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 2,000                     | 2         | 1,000                 | 1,031    | 0,368      |
| Nos grupos   | 32,000                    | 33        | 0,970                 |          |            |
| Total        | 34,000                    | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância foi maior do que 0,05, aceitando-se novamente a hipótese nula ( $H_0$ ). Sendo assim, nas ocasiões em que se avaliaram as pinturas com Tinta A e Tinta B, não foram evidenciadas diferenças significativas para uma abundância dos fungos aos 30 dias e 101 dias após a repintura das fachadas.

#### 4.1.3.2 Análises da riqueza de fungos nas edificações

Os valores discutidos a seguir referem-se a riqueza de gêneros de fungos isolados e efetivamente identificados em laboratório. Inicialmente, realizaram-se tratamentos estatísticos básicos nas amostras em triplicata das cinco coletas, obtendo os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação, expressos pela Tabela 25.

Tabela 25 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos nas amostras coletadas

| Coleta | Amostra | Riqueza |      |        |
|--------|---------|---------|------|--------|
|        |         | Média   | DP   | CV     |
| 1      | D07N ST | 1,67    | 0,58 | 34,6%  |
|        | D07S ST | 2,00    | 1,00 | 50,0%  |
|        | B13N ST | 3,67    | 0,58 | 15,7%  |
|        | B13S ST | 0,67    | 1,15 | 173,2% |
| 2      | D07N ST | 1,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | D07S ST | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | B13N ST | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | B13S ST | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
| 3      | D07N ST | 0,67    | 0,58 | 86,6%  |
|        | D07S ST | 1,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N ST | 0,00    | 0,00 | -      |
|        | B13S ST | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
| 4      | D07N ST | 0,67    | 1,15 | 173,2% |
|        | D07N TA | 1,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | D07N TB | 1,33    | 0,58 | 43,3%  |
|        | D07S ST | 0,67    | 0,58 | 86,6%  |
|        | D07S TA | 0,67    | 1,15 | 173,2% |
|        | D07S TB | 0,67    | 0,58 | 86,6%  |
|        | B13N ST | 0,00    | 0,00 | -      |
|        | B13N TA | 0,00    | 0,00 | -      |
|        | B13N TB | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S ST | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | B13S TA | 0,67    | 0,58 | 86,6%  |
|        | B13S TB | 0,33    | 0,58 | 173,2% |

Continua...

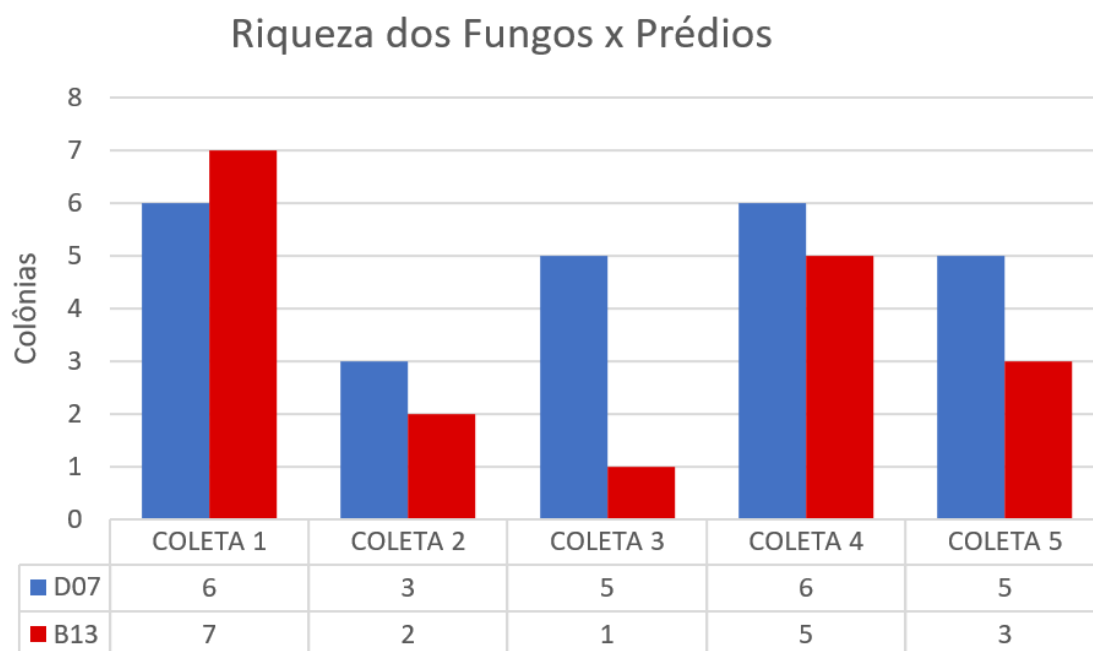
| Coleta | Amostra | Riqueza |      |        |
|--------|---------|---------|------|--------|
|        |         | Média   | DP   | CV     |
| 5      | D07N ST | 1,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | D07N TA | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | D07N TB | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S ST | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S TA | 1,00    | 1,00 | 100,0% |
|        | D07S TB | 0,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N ST | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
|        | B13N TA | 0,00    | 0,00 | 0,0%   |
|        | B13N TB | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S ST | 0,33    | 0,58 | 173,2% |
|        | B13S TA | 0,00    | 0,00 | -      |
|        | B13S TB | 0,00    | 0,00 | -      |

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como na análise da abundância, o prédio B13 apresentou maior heterogeneidade no conjunto de dados de riqueza das amostras em triplicata, visto que o coeficiente de variação (CV) para abundância das colônias isoladas atingiu valores altos em pelo menos 40% das amostragens. Parte-se então, para análise específica dos prédios, fachadas e tratamentos.

A Figura 43 apresenta a comparação da riqueza de gêneros de fungos isolados nos prédios D07 e B13, nas Coletas 01 a 05.

Figura 43 – Riqueza de fungos nos prédios D07 e B13



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que dentre as cinco coletas realizadas, em quatro delas, o prédio D07 apresentou a maior riqueza de gêneros quando comparado ao prédio B13. De certa forma, a riqueza por coleta foi bastante semelhante, com exceção para a Coleta 03, na qual identificou-se no prédio D07 cinco gêneros, e no prédio D07, apenas um. A menor riqueza identificada ocorreu na Coleta 02, um dia após a limpeza. No entanto, evidencia-se que o procedimento de desinfecção anterior a repintura não extingue totalmente os fungos, mantendo propágulos que posteriormente poderão se desenvolver sob a nova película de tinta aplicada.

A Tabela 26 exibe os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação de cada prédio, somando os resultados obtidos nas fachadas norte e sul apresentados na Tabela 25.

Tabela 26 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos em prédios B13 e D07

| Coleta | Prédio | Riqueza |      |        |
|--------|--------|---------|------|--------|
|        |        | Média   | DP   | CV     |
| 1      | D07    | 1,83    | 0,30 | 16,3%  |
|        | B13    | 2,17    | 0,41 | 18,8%  |
| 2      | D07    | 1,00    | 0,30 | 29,9%  |
|        | B13    | 0,67    | 0,30 | 44,8%  |
| 3      | D07    | 0,83    | 0,41 | 49,0%  |
|        | B13    | 0,17    | 0,41 | 244,9% |
| 4      | D07    | 0,83    | 0,67 | 80,8%  |
|        | B13    | 0,39    | 0,46 | 117,1% |
| 5      | D07    | 0,83    | 0,67 | 80,0%  |
|        | B13    | 0,17    | 0,29 | 173,2% |

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente, a edificação B13 apresentou os maiores coeficientes de variação, agora na análise da riqueza de colônias de fungos, especialmente após a Coleta 03. Isto retrata a maior heterogeneidade do conjunto de dados referentes a este prédio ao longo das coletas. A fim de discutir a respeito da hipótese nula, aplicou-se análise da variância por meio de teste estatístico ANOVA, apresentado pela Tabela 27.

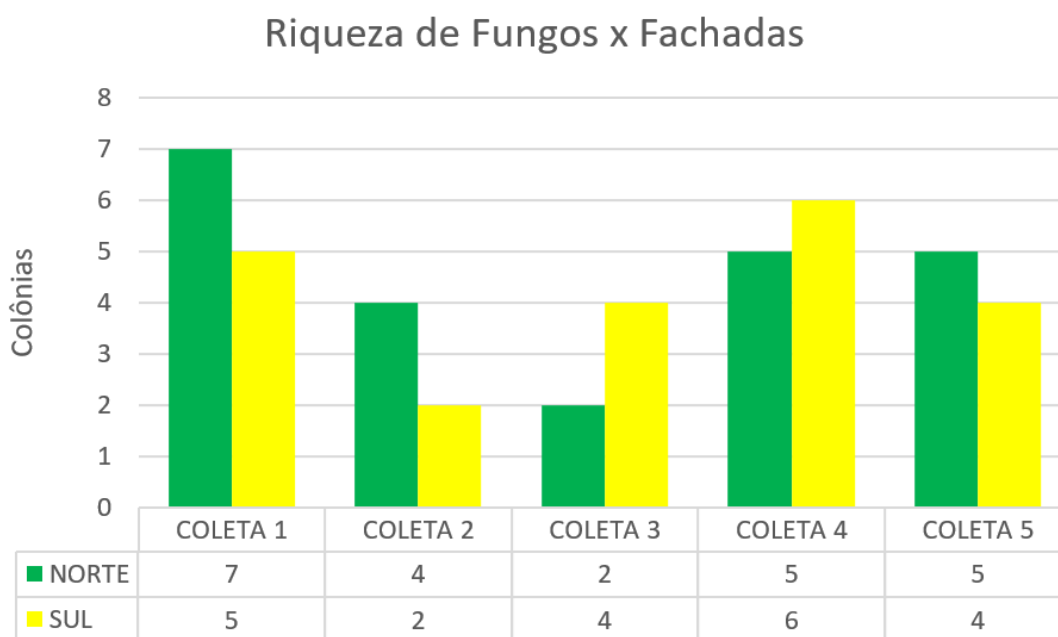
Tabela 27 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em prédios, admitindo a riqueza como variável dependente

|              | Soma dos Quadrados | Df  | Quadrado Médio | Z     | Sig   |
|--------------|--------------------|-----|----------------|-------|-------|
| Entre Grupos | 5,333              | 1   | 5,333          | 7,119 | 0,009 |
| Nos grupos   | 79,407             | 106 | 0,749          |       |       |
| Total        | 84,741             | 107 |                |       |       |

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo a Tabela 27, na análise entre os prédios B13 e D07, o nível de significância foi menor que 0,05, rejeitando-se a hipótese nula ( $H_0$ ). Existem, portanto, diferenças significativas entre a riqueza dos fungos presentes nas duas edificações. Avaliando a riqueza nas fachadas de orientação norte e sul, por meio da Figura 44, pode-se visualizar a quantidade de gêneros isolados por coleta.

Figura 44 – Riqueza de fungos nas fachadas de orientação Norte e Sul



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante as cinco coletas em norte e sul, observaram-se resultados variados. Desta forma, em nenhuma das orientações o número de gêneros isolados apresentou grande superioridade em relação a outra, o que dificulta qualquer discussão sobre uma eventual influência das características das fachadas no aumento da abundância e riqueza de colônias de fungos. Porém, vale salientar que



as colônias do fungo *Beauveria* sp. foram todas isoladas do prédio D07, assim como a maioria das colônias isoladas do fungo *Alternaria* sp., de abundância predominante nesta pesquisa.

A Tabela 28 exibe os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação das fachadas norte e sul, obtidos pela soma dos valores das fachadas de ambos os prédios, por coleta.

Tabela 28 – Valores médios, DP, e CV para riqueza dos fungos em fachadas norte e sul

| Coleta | Fachadas | Riqueza |      |        |
|--------|----------|---------|------|--------|
|        |          | Média   | DP   | CV     |
| 1      | Norte    | 2,67    | 0,58 | 21,7%  |
|        | Sul      | 1,33    | 1,08 | 80,8%  |
| 2      | Norte    | 1,00    | 0,50 | 50,0%  |
|        | Sul      | 0,67    | 0,79 | 118,3% |
| 3      | Norte    | 0,33    | 0,29 | 86,6%  |
|        | Sul      | 0,67    | 0,29 | 43,3%  |
| 4      | Norte    | 0,56    | 0,38 | 69,3%  |
|        | Sul      | 0,67    | 0,74 | 111,6% |
| 5      | Norte    | 0,61    | 0,53 | 86,0%  |
|        | Sul      | 0,39    | 0,43 | 110,5% |

Fonte: Elaborado pelo autor

A maior dispersão do conjunto de dados ocorreu na orientação sul, em pelo menos 80% dos resultados, quando comparadas às duas orientações. Em continuidade, a Tabela 29 apresenta os resultados da análise de variância aplicada as fachadas, por meio do teste estatístico ANOVA.

Tabela 29 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em fachadas, admitindo a riqueza como variável dependente

|              | Soma dos Quadrados | Df  | Quadrado Médio | Z     | Sig   |
|--------------|--------------------|-----|----------------|-------|-------|
| Entre Grupos | 0,926              | 1   | 0,926          | 1,171 | 0,282 |
| Nos grupos   | 83,815             | 106 | 0,791          |       |       |
| Total        | 84,741             | 107 |                |       |       |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância calculado foi maior que 0,05, aceitando-se, assim, a hipótese nula ( $H_0$ ). Conclui-se que não houve diferenças significativas na riqueza dos fungos entre as fachadas de orientação norte e sul.

A Tabela 30 apresenta a análise de variância aplicada aos dados das Coletas 01, 02 e 03, para as fachadas nas condições originais, e após um e sete dias da limpeza, verificando sua provável influência na riqueza de gêneros de fungos.

Tabela 30 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado em limpeza, admitindo a riqueza como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 14,889                    | 2         | 7,444                 | 8,570    | 0,001      |
| Nos grupos   | 28,667                    | 33        | 0,869                 |          |            |
| Total        | 43,556                    | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância calculado foi menor que 0,05, rejeitando a hipótese nula ( $H_0$ ) e concluindo que houve diferenças significativas entre a riqueza de gêneros antes e depois da limpeza.

Efetuando comparações múltiplas entre as Coletas 01, 02 e 03, por meio do Teste de Tukey, obteve-se os seguintes resultados, apresentados pela Tabela 31.

Tabela 31 – Teste de Tukey para comparações múltiplas entre as condições originais e após a limpeza das fachadas, considerando a abundância como variável dependente

| <b>Amostra<sup>1</sup></b> |   | <b>Diferença média</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Sig.</b> | <b>Intervalo de Confiança 95%</b> |                        |
|----------------------------|---|------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------|
|                            |   |                        |                    |             | <b>Limite inferior</b>            | <b>Limite superior</b> |
| 0                          | 1 | 1,167                  | 0,381              | 0,012       | 0,23                              | 2,10                   |
|                            | 7 | 1,500                  | 0,0381             | 0,001       | 0,57                              | 2,43                   |

Continua...

| Amostra <sup>1</sup> |   | Diferença<br>média | Erro<br>Padrão | Sig.  | IC 95%             |                    |
|----------------------|---|--------------------|----------------|-------|--------------------|--------------------|
|                      |   |                    |                |       | Limite<br>inferior | Limite<br>superior |
| 1                    | 0 | -1,167             | 0,381          | 0,012 | -2,10              | -0,23              |
|                      | 7 | 0,333              | 0,381          | 0,659 | -0,60              | 1,27               |
| 7                    | 0 | -1,500             | 0,381          | 0,001 | -2,43              | -0,57              |
|                      | 1 | -0,333             | 0,381          | 0,659 | -1,27              | 0,60               |

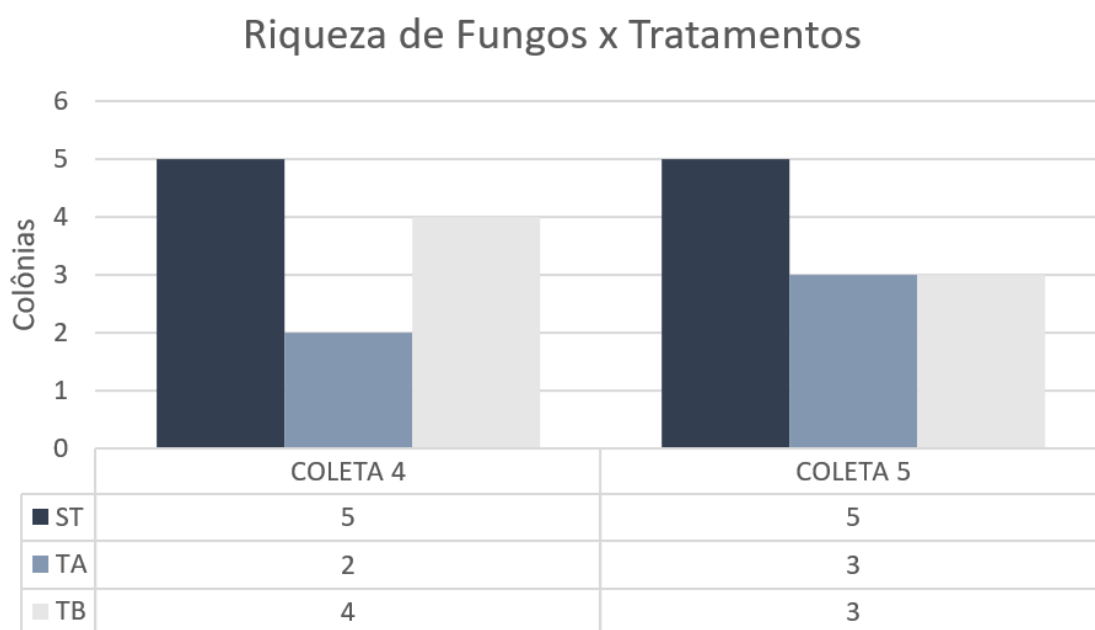
<sup>1</sup>Os números indicados nestas colunas como Amostras representam os dias nas Coletas 01, 02 e 03 (0, 1 e 7 dias)

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente, utilizou-se a convenção de “0”, representando as condições originais, “1”, representando a limpeza depois de um dia, e “7”, depois de sete dias. Para as comparações das amostras 0 e 1 e 0 e 7, e vice-versa, rejeitou-se a hipótese nula ( $H_0$ ), havendo diferenças significativas entre a riqueza de gêneros em todos os casos. Contudo, entre um e sete dias após a limpeza, não houve diferenças significativas.

Por último, foi realizada a análise da riqueza de gêneros que se desenvolveu sobre os tipos de tratamentos (ST, TA e TB), de acordo com a Figura 45.

Figura 45 – Riqueza de fungos nas situações Sem Tratamento (ST), com Tinta A (TA) e com Tinta B (TB).



Fonte: Elaborado pelo autor

Tanto na Coleta 04, como na Coleta 05, a área Sem Tratamento (ST) apresentou a maior riqueza de gêneros identificados. Na comparação entre tintas, diferentemente dos resultados obtidos na análise da abundância de colônias, a Tinta A, desta vez, apresentou o melhor desempenho. Isto, não só pelos números da Coleta 04 (Figura 45), mas também porque na soma das duas coletas, desenvolveram-se sobre as áreas pintadas com Tinta A, somente quatro gêneros de fungos, sendo eles: *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Curvularia* sp., e *Mycelia sterilia*. Já sobre as áreas pintadas com Tinta B, foram isoladas colônias de *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladosporium* sp., *Tripaspermum* sp., *Alternaria* sp., *Nigrospora* sp. e *Curvularia* sp, totalizando sete gêneros distintos.

O teste estatístico ANOVA aplicado aos resultados obtidos nas áreas pintadas com Tinta A e B, na Coleta 04, estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado às pinturas com Tintas A e B, após 30 dias (Coleta 04), admitindo a riqueza como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 0,056                     | 2         | 0,028                 | 0,056    | 0,946      |
| Nos grupos   | 16,500                    | 33        | 0,500                 |          |            |
| Total        | 16,556                    | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

O nível de significância calculado foi maior que 0,05, aceitando-se a hipótese nula ( $H_0$ ). Portanto, não houve diferenças significativas entre as áreas pintadas com Tintas A e B, na riqueza de gêneros de fungos após 30 dias do procedimento de repintura. O mesmo teste foi aplicado para a Coleta 05, 101 dias após a repintura, apresentado pela Tabela 33.

Tabela 33 – Teste estatístico (ANOVA) aplicado às pinturas com Tintas A e B, após 101 dias (Coleta 05), admitindo a riqueza como variável dependente

|              | <b>Soma dos Quadrados</b> | <b>Df</b> | <b>Quadrado Médio</b> | <b>Z</b> | <b>Sig</b> |
|--------------|---------------------------|-----------|-----------------------|----------|------------|
| Entre Grupos | 0,667                     | 2         | 0,333                 | 0,673    | 0,517      |
| Nos grupos   | 16,333                    | 33        | 0,495                 |          |            |
| Total        | 17,000                    | 35        |                       |          |            |

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente, o nível de significância foi maior que 0,05, aceitando-se a hipótese nula ( $H_0$ ). Evidencia-se, portanto, que não houve diferenças significativas entre a riqueza dos fungos sobre os tratamentos com Tinta A e Tinta B.

#### 4.1.3.3 Resumo das análises estatísticas

Na comparação dos prédios, houve diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos entre D07 e B13.

Na comparação das fachadas, não houve diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos entre as orientações norte e sul.

Na comparação das Coletas 01 e 02, houve diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos entre as condições de biodeterioração em que as fachadas foram encontradas e após o procedimento de limpeza.

Na comparação das Coletas 02 e 03, não houve diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos entre o primeiro e o sétimo dia após a limpeza.

Na comparação das áreas ST e TA, não houve diferenças significativas na abundância de fungos das Coletas 04 e 05.

Na comparação das áreas ST e TB, houve diferenças significativas na abundância de fungos das Coletas 04 e 05.

Na comparação das áreas TA e TB, não houve diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos das Coletas 04 e 05.

#### 4.1.3.4 Análise dos componentes biocidas das Tintas A e B

Sabe-se que a eficácia das tintas na inibição fúngica está intimamente ligada aos seus componentes biocidas. Neste caso, utilizaram-se as FISPQ's dos produtos para o conhecimento de alguns destes componentes, buscando justificar a inibição da proliferação de colônias de fungos.

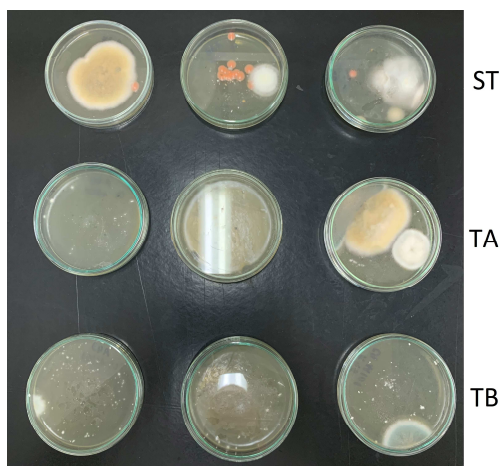
A Tinta A possui como composto o ingrediente de nome químico cloro-metil-isotiazolinona. De acordo com Goldschmidt e Streitberger (2007), Woodward (2012) e Mannari e Patel (2015), as isotiazolinonas agem basicamente, na inibição da síntese macromolecular (DNA, RNA, proteínas, etc.), normalmente combinadas com derivados de metilcloro para conservação do produto em lata, controlando uma ampla gama de bactérias e fungos.

No caso da Tinta B, encontrou-se a Piritiona de Zinco, indicada, dentre outros compostos, por Woodward (2012) e Mannari e Patel (2015), especialmente para preservação das películas de tinta após a aplicação. Este composto apresenta um amplo espectro de atividade antimicrobiana, atuando contra fungos e bactérias. Sua ação reduz o nível intracelular de Trifosfato de Adenosina e promove a despolarização das membranas celulares. Destaca-se ainda, o composto Fenoxietanol, eficaz no controle de bactérias e leveduras. Os fenóis agem na inativação enzimática inibindo a síntese metabólica e possuem baixa solubilidade, o que os caracteriza para aplicação em ambientes externos.

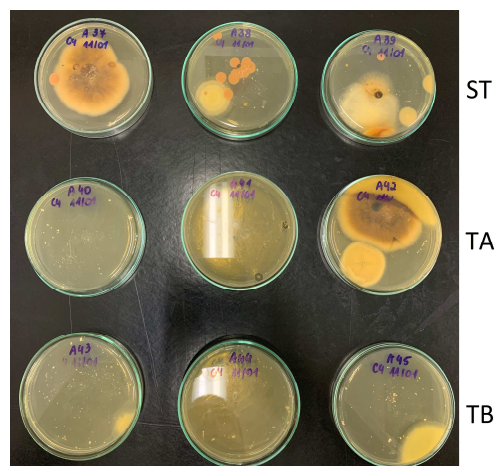
#### 4.1.3.5 Análise visual das placas originais (Amostras 37 a 108)

Realizaram-se ainda, análise visual das placas originais de culturas mistas inoculadas com amostras das Coletas 04 (37 a 72) e Coleta 05 (73 a 108). Por meio da Figura 46, é possível comparar as amostras em triplicata de cada um dos tipos de tratamento (ST, TA e TB) e observar o efeito positivo das áreas pintadas com as duas tintas na inibição do desenvolvimento de microrganismos.

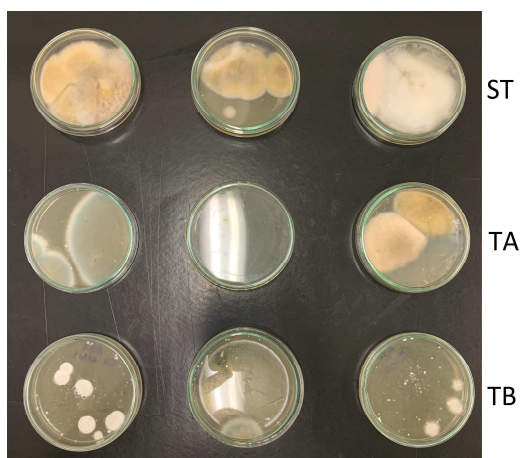
Figura 46 – Amostras 37 A 72 referentes a Coleta 04, após 5 dias de incubação, nas três situações avaliadas (ST, TA e TB)



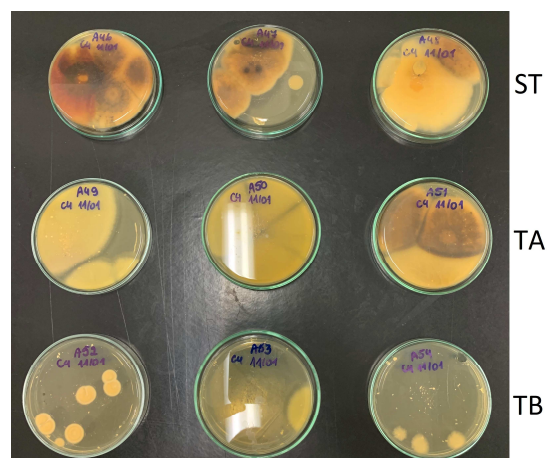
D07 Sul - Amostras 37 a 45 (Frente)  
a)



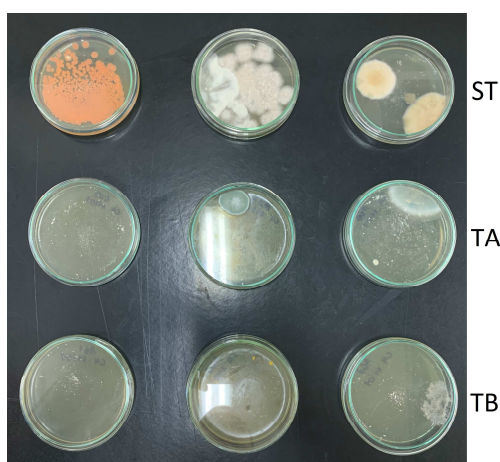
D07 Sul - Amostras 37 a 45 (Reverso)  
b)



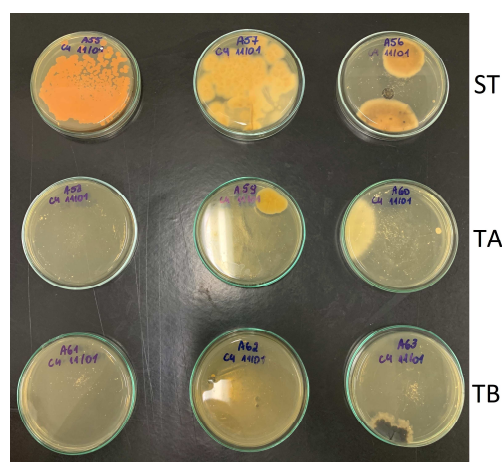
D07 Norte - Amostras 46 a 54 (Frente)  
c)



D07 Norte - Amostras 46 a 54 (Reverso)  
d)

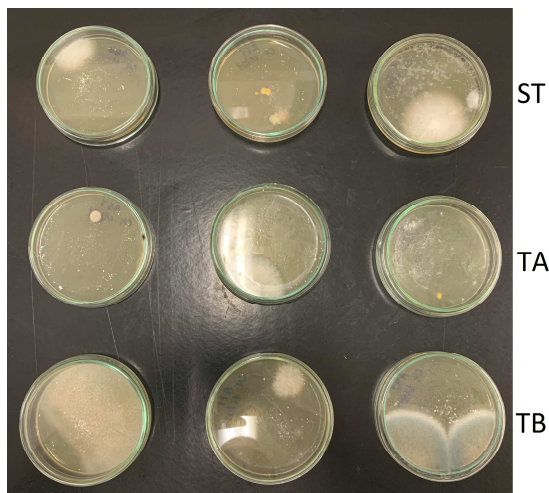


B13 Sul - Amostras 55 a 63 (Frente)  
e)



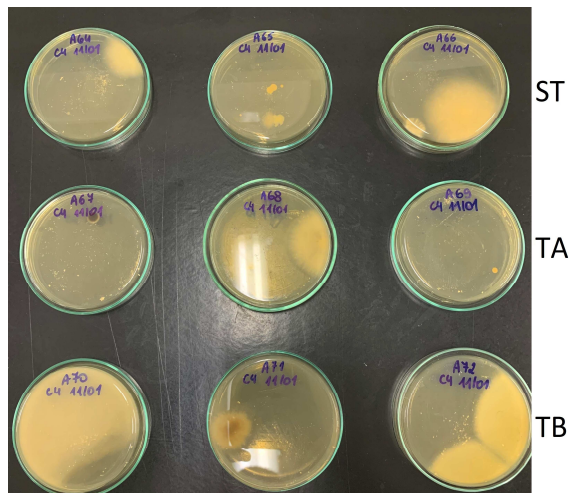
B13 Sul - Amostras 55 a 63 (Reverso)  
f)

Continua...



B13 Norte - Amostras 64 a 72 (Frente)

g)



B13 Norte - Amostras 64 a 72 (Reverso)

h)

Fonte: Elaborado pelo autor

Complementarmente as análises estatísticas da abundância e riqueza, analisou-se visualmente as culturas mistas provenientes das coletas originais cultivadas em placas de Petri. Foram colocadas lado a lado as amostras em triplicatas por tipo de tratamento, e dispostas por ordem de cima para baixo, as placas de ST, TA e TB. De forma geral, observou-se um gradiente entre a contaminação das amostras de ST e TB, sendo nas placas de ST identificadas as maiores contaminações. As amostras 37 a 54, de a) a d) da Figura 46, pertencentes ao prédio D07, apresentaram uma maior colonização das placas, em termos de riqueza e abundância, em comparação às amostras 55 a 72, de e) a h), do prédio B13

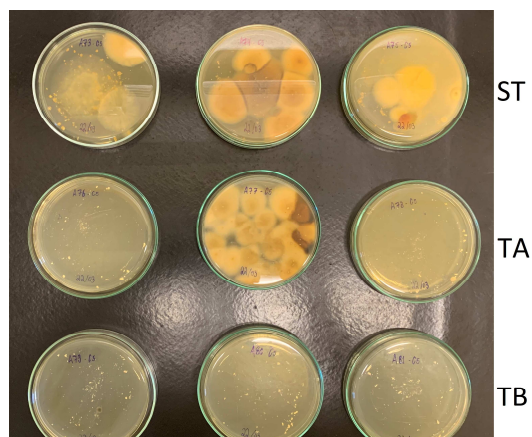
A Figura 47, por sua vez, exibe as amostras 73 a 108, referentes a Coleta 05, após 5 dias de incubação.



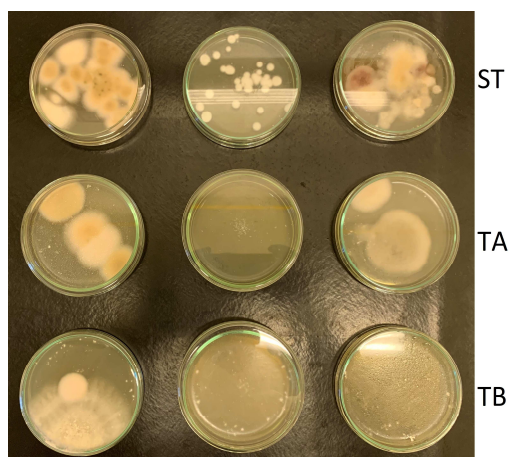
Figura 47 – Amostras 73 A 108 referentes a Coleta 05, após 5 dias de incubação, nas três situações avaliadas (ST, TA e TB)



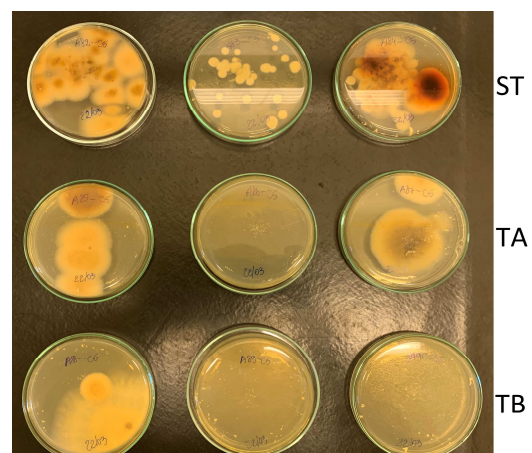
D07 Sul - Amostras 73 a 81 (Frente)  
a)



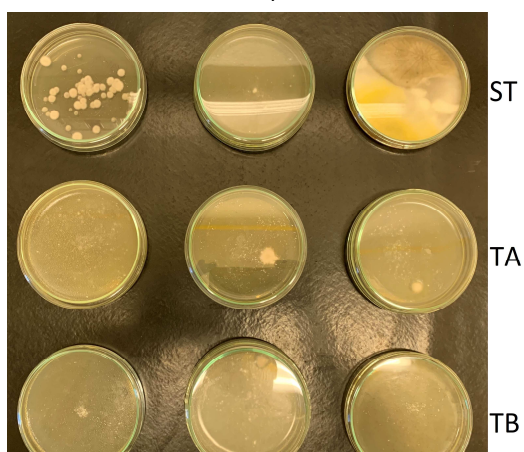
D07 Sul - Amostras 73 a 81 (Reverso)  
b)



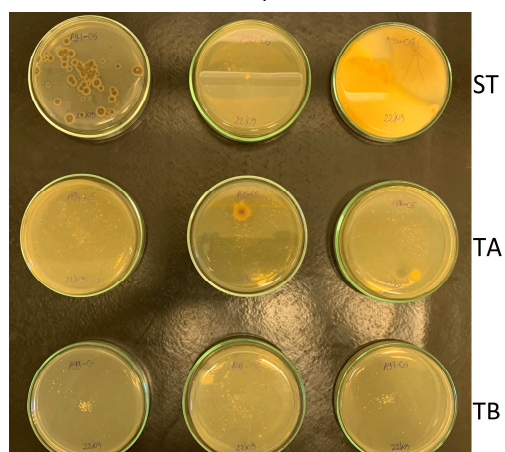
D07 Norte - Amostras 82 a 90 (Frente)  
c)



D07 Norte - Amostras 82 a 90 (Reverso)  
d)

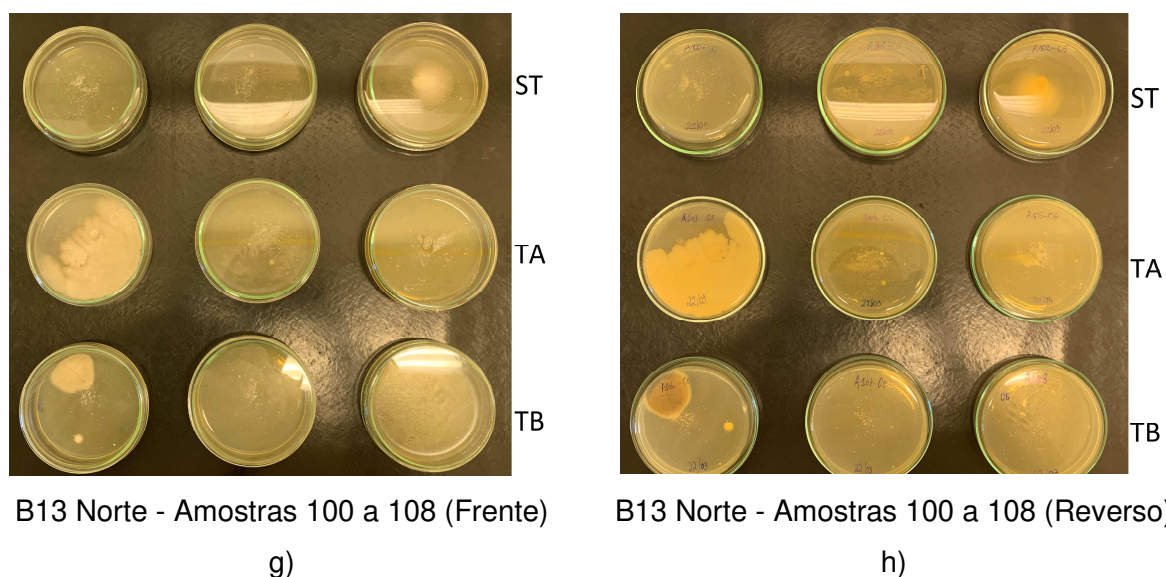


B13 Sul - Amostras 91 a 99 (Frente)  
e)



B13 Sul - Amostras 91 a 99 (Reverso)  
f)

Continua...



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como na Coleta 04, visualizou-se o efeito positivo dos biocidas das composições das Tintas A e B, na inibição da proliferação de microrganismos. Para as amostras 73 a 90, de a) a d), novamente foi possível identificar uma maior colonização das placas pertencentes ao prédio D07, em termos de riqueza e abundância, corroborando com o disposto na Figura 40. Além disso, nestas mesmas placas, evidencia-se mais claramente o gradiente de contaminação entre os tratamentos (ST, TA e TB). No caso do prédio B13, de placas 91 a 108, representados pelas letras e) a h), o crescimento de microrganismos foi bastante reduzido.

#### 4.1.3.6 Colônias de fungos isolados

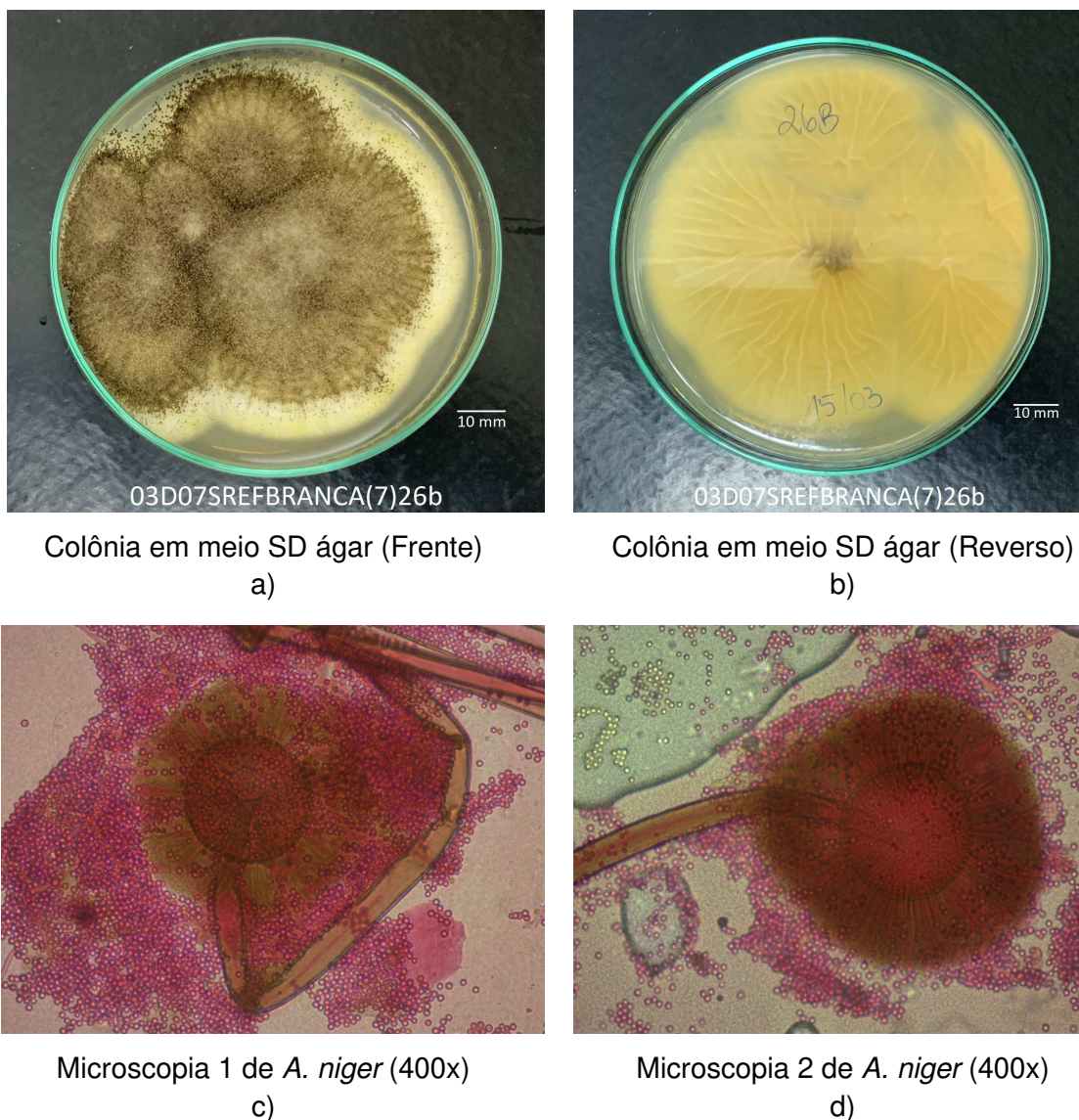
Descrevem-se aqui, as características morfológicas macroscópicas e microscópicas de algumas das colônias isoladas dos treze gêneros de fungos identificados, ilustrando cada uma delas. Para tanto, assim como na revisão, utilizaram-se como auxílio principalmente as bibliografias de Lacaz *et al.* (1998), Ellis e Kidd (1998), e INSPQ (2016).



#### 4.1.3.6.1 *Aspergillus* sp.

Para este gênero foram apresentadas quatro das principais espécies de *Aspergillus* identificados ao longo das coletas. Por meio da Figura 48, observa-se o fungo *Aspergillus niger*, único apresentado a nível de espécie.

Figura 48 – Fungo da espécie *Aspergillus niger*



Fonte: Elaborado pelo autor

O *A. niger* é reconhecido facilmente pelas características que apresenta, exibindo em a) e b) da Figura 48, colônia de coloração amarelada e compacta, com camada densa de conidióforos marrons a pretos e reverso amarelo-creme. Analisando as microscopias em c) e d), identificou-se conidióforos longos, hialinos,

terminando em uma vesícula globosa, de fiálides carregadas com métulas hialinas a castanhas e conídios globosos.

A Figura 49 apresenta a morfologia macroscópica e microscópica de um segundo *Aspergillus* sp. identificado durante a Coleta 01.

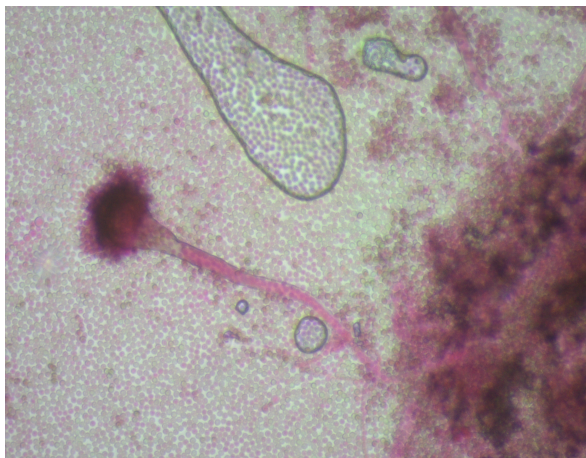
Figura 49 –Segundo fungo do gênero *Aspergillus*



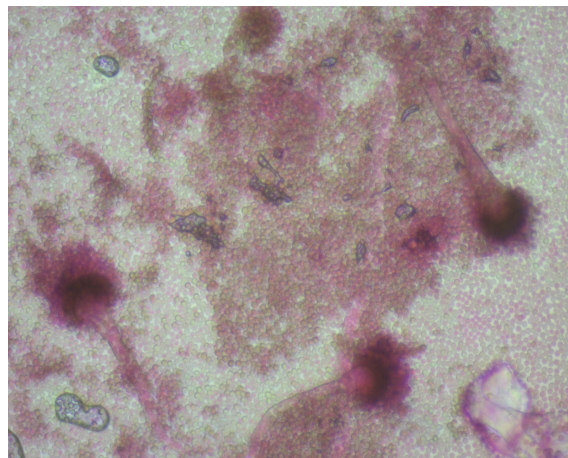
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Aspergillus* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Aspergillus* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia exibida na Figura 49, em a) e b), possui coloração marrom-escura a preta, de aparência feltrada e reverso amarelo-creme. Em c) e d), pela análise das microscopias, os conidióforos são longos e alargados em direção a base, hialinos,



terminando em vesículas globosas a subglobosas, com fiálides e conídios globosos hialinos.

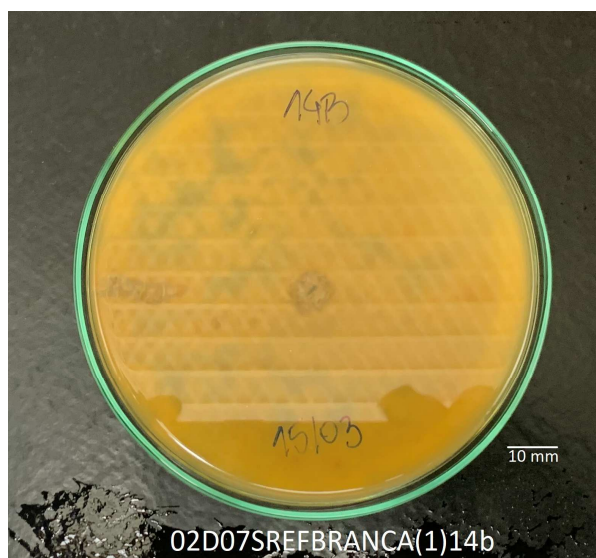
A Figura 50 apresenta um terceiro *Aspergillus* sp., identificado durante as Coletas 02 e 04.

Figura 50 – Terceiro fungo do gênero *Aspergillus*



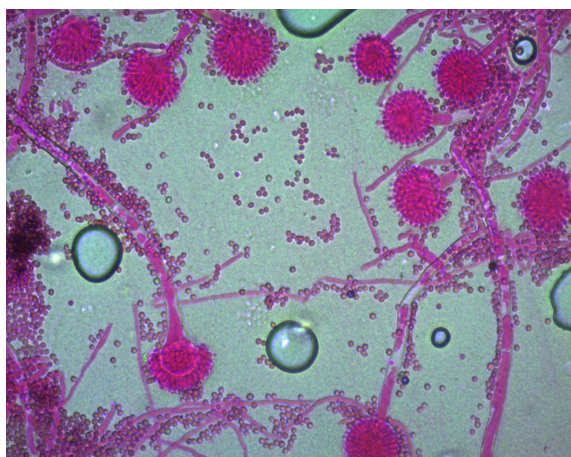
Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



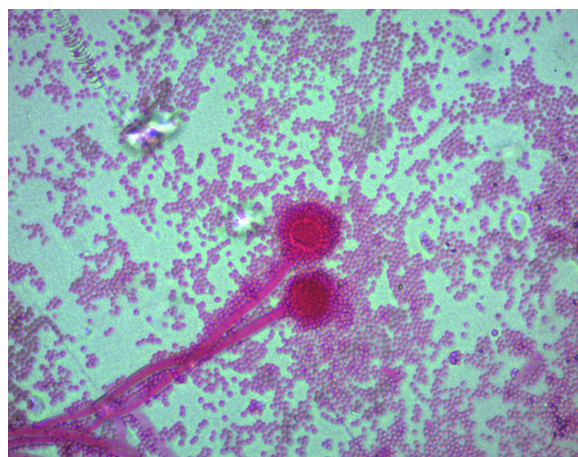
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Aspergillus* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Aspergillus* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta espécie, de acordo com a Figura 50, em a) e b), apresentou coloração marrom-clara em fundo verde, de aparência feltrada, reverso amarelo-creme. Na análise microscópica por identificou-se conidióforos longos e uniformes, terminando

em uma vesícula globosa, com fiálides, em princípio, pigmentadas, e conídios globosos, conforme visualiza-se nas imagens de c) e d).

Por fim, a Figura 51 apresenta um quarto, e último fungo identificado de *Aspergillus* sp., encontrado durante a Coleta 02.

Figura 51 – Quarto fungo do gênero *Aspergillus*



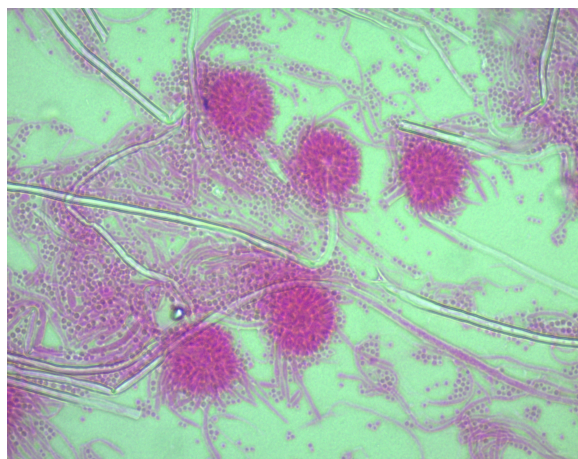
Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



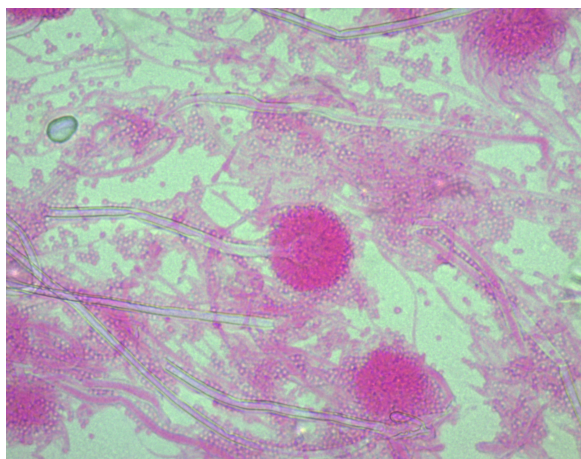
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Aspergillus* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Aspergillus* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor

Diferentemente das demais espécies, este *Aspergillus* sp. exibiu colônia de coloração inicialmente branca, com centro amarelado, tornando-se castanho-amarelada ao longo do tempo, conforme a) e b), da Figura 51. A colônias apresentava aspecto velutino, com reverso branco-amarelado. As imagens

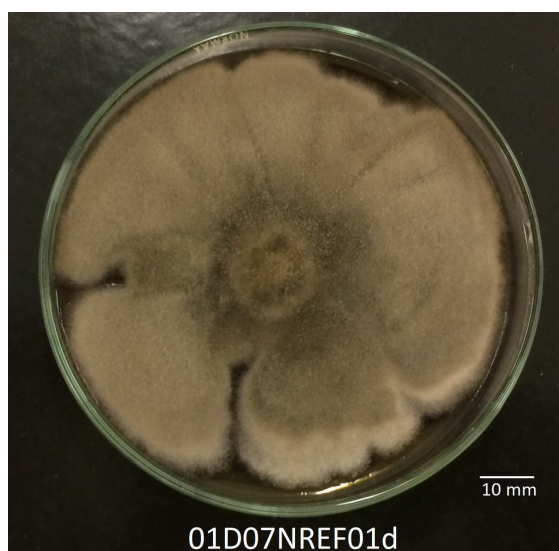


efetuadas em microscópio ótico, representadas por c) e d), possibilitaram a identificação de conidióforos longos e hialinos, terminando em vesículas globosas, fiálides hialinas e conídios globosos hialinos.

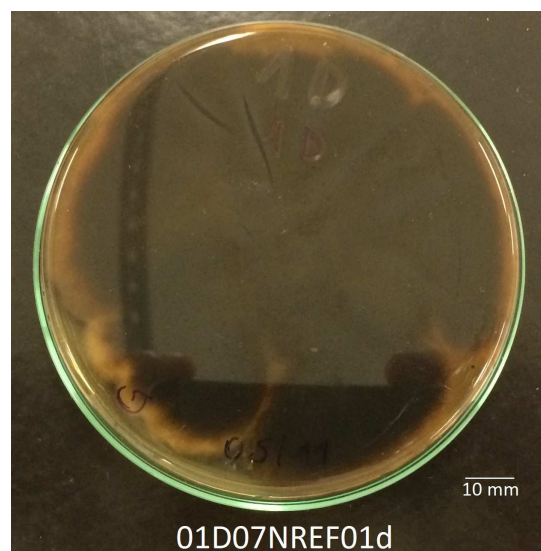
#### 4.1.3.6.2 *Alternaria* sp.

As colônias isoladas do fungo *Alternaria* sp. pertenciam majoritariamente a três espécies apresentadas a seguir. A Figura 52 exibe a morfologia macroscópica e microscópica do primeiro fungo *Alternaria* sp.

Figura 52 – Primeiro fungo do gênero *Alternaria*



Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Alternaria* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Alternaria* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia possuía coloração marrom-clara com bordas escurecidas, de aparência plana, lanosa, e reverso marrom a preto, de acordo com a) e b), da Figura 52. Microscopicamente, em c) e d), visualizam-se hifas escuras, septadas, com conídios simples ou ramificados, muriformes, oblongos, com uma célula apical alongada semelhante a um bico.

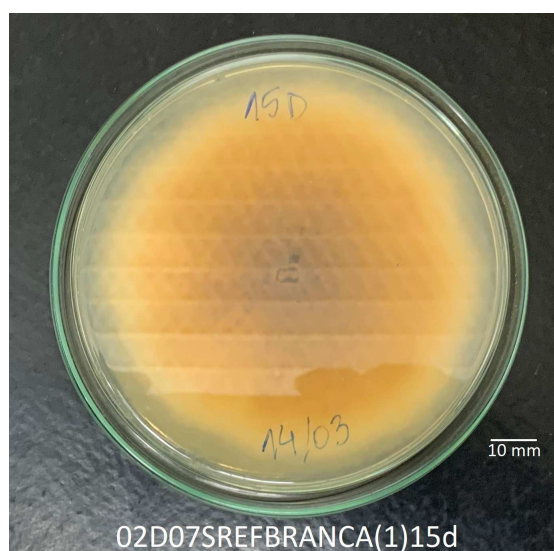
A Figura 53, por sua vez, apresenta a colônia e microscopia de uma segunda espécie do gênero *Alternaria*.

Figura 53 – Segundo fungo do gênero *Alternaria*



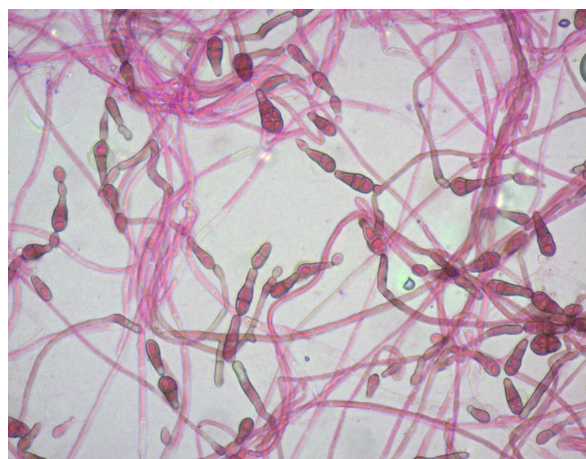
Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



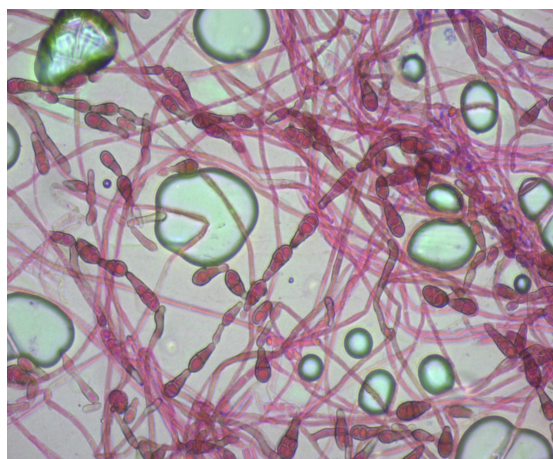
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Alternaria* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Alternaria* sp. (400x)

d)

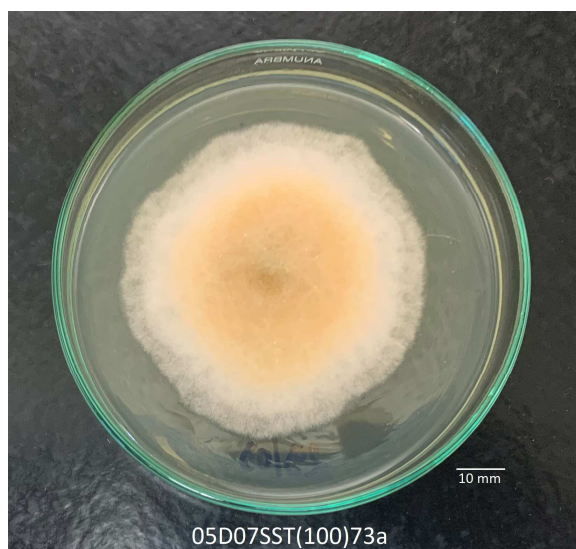
Fonte: Elaborado pelo autor



Percebe-se, pela análise da Figura 53, em a) e b), colônia de coloração pêssego a bege, de bordas claras, aparência plana e lanosa, e reverso muito semelhante a superfície. A morfologia microscópica, conforme c) e d), exibia conídios em longas ramificações, também muriformes e oblongos, com célula apical alongada semelhante a um bico.

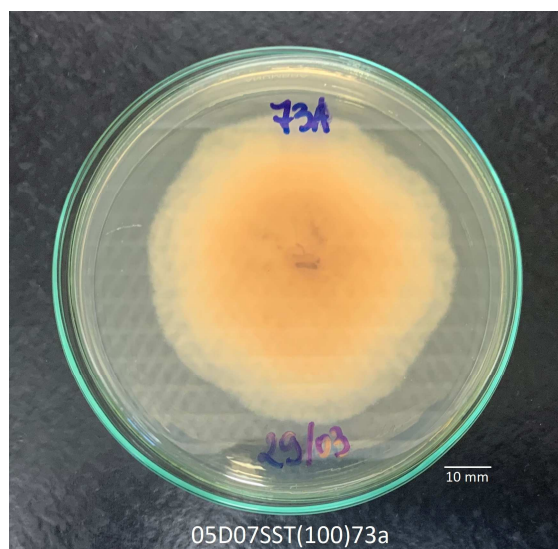
Por fim, a Figura 54 apresenta uma terceira colônia de *Alternaria* sp.

Figura 54 – Terceiro fungo do gênero *Alternaria*



Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Alternaria* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Alternaria* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor

De fato, as microscopias do fungo *Alternaria* sp. apresentaram-se bastante semelhantes. A colônia da Figura 54, possivelmente pertence a mesma espécie do

segundo *Alternaria* sp. (Figura 53), pois possuem tanto semelhanças macroscópicas, quanto microscópicas.

#### 4.1.3.6.3 *Acremonium* sp.

O fungo *Acremonium* sp., identificado nas Coletas 01 e 04 desta pesquisa, está apresentado na Figura 55.

Figura 55 – Fungo do gênero *Acremonium*



Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



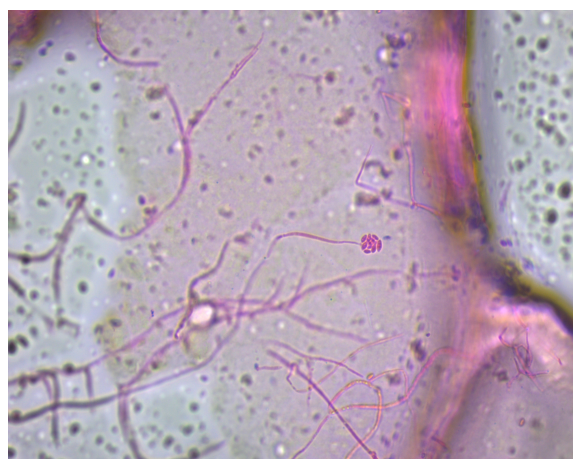
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Acremonium* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Acremonium* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor



A colônia possuía aparência semelhante a camurça, com sulcos radiados, de coloração creme e reverso incolor, conforme visualiza-se em a) e b), da Figura 55. A morfologia microscópica, em c) e d), exibia hifas septadas e hialinas, conidióforos de paredes lisas e conídios unicelulares, oblongos, agregados ao ápice de suas fiáldes.

#### 4.1.3.6.4 *Beauveria* sp.

O fungo *Beauveria* sp., apresentado pela Figura 56, foi identificado em todas as coletas após a limpeza e desinfecção das fachadas.

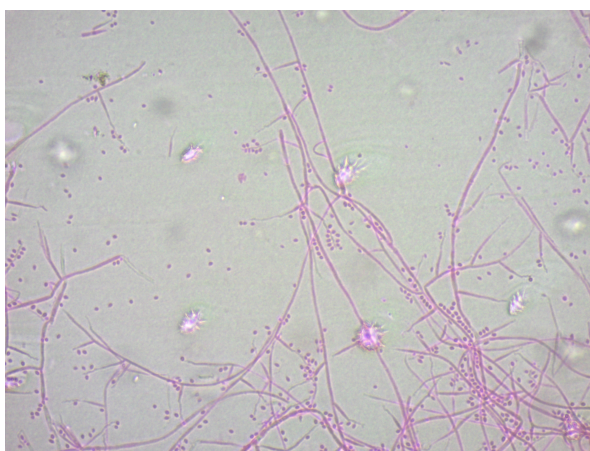
Figura 56 – Fungo do gênero *Beauveria*



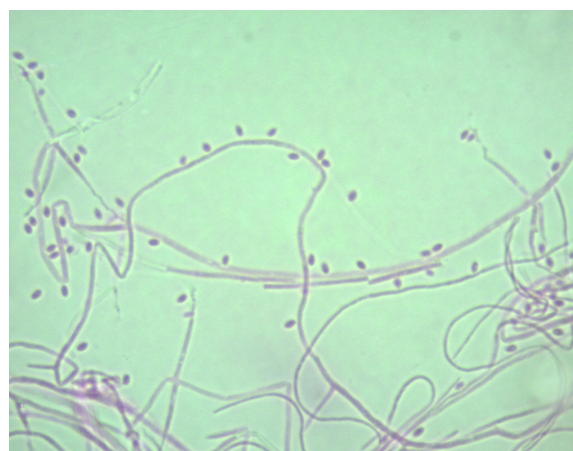
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Beauveria* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Beauveria* sp. (1000x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se pela Figura 56, em a) e b), uma colônia de coloração branca, não maior do que 2 cm, de aparência algodonosa e reverso incolor. A microscopia, em c) e d), apresentava hifas septadas, com conídios unicelulares, globosos a ovais, que se desenvolvem em ramificações geniculadas ou em ziguezague.

#### 4.1.3.6.5 *Chaetomium* sp.

O fungo *Chaetomium* sp., apresentado pela Figura 57, foi identificado apenas durante a Coleta 01.

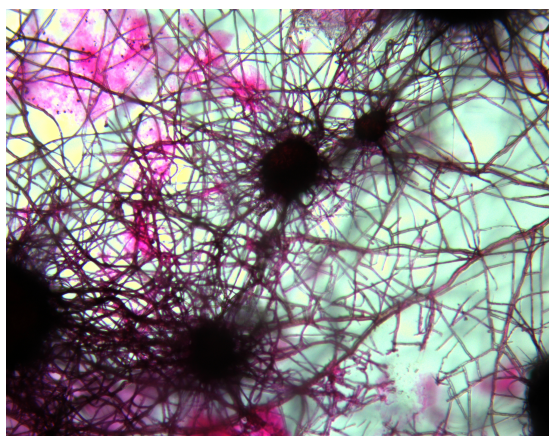
Figura 57 – Fungo do gênero *Chaetomium*



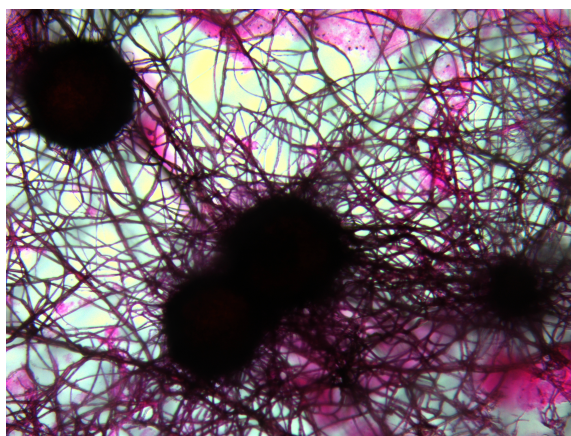
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Chaetomium* sp. (100x)  
c)



Microscopia 2 de *Chaetomium* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

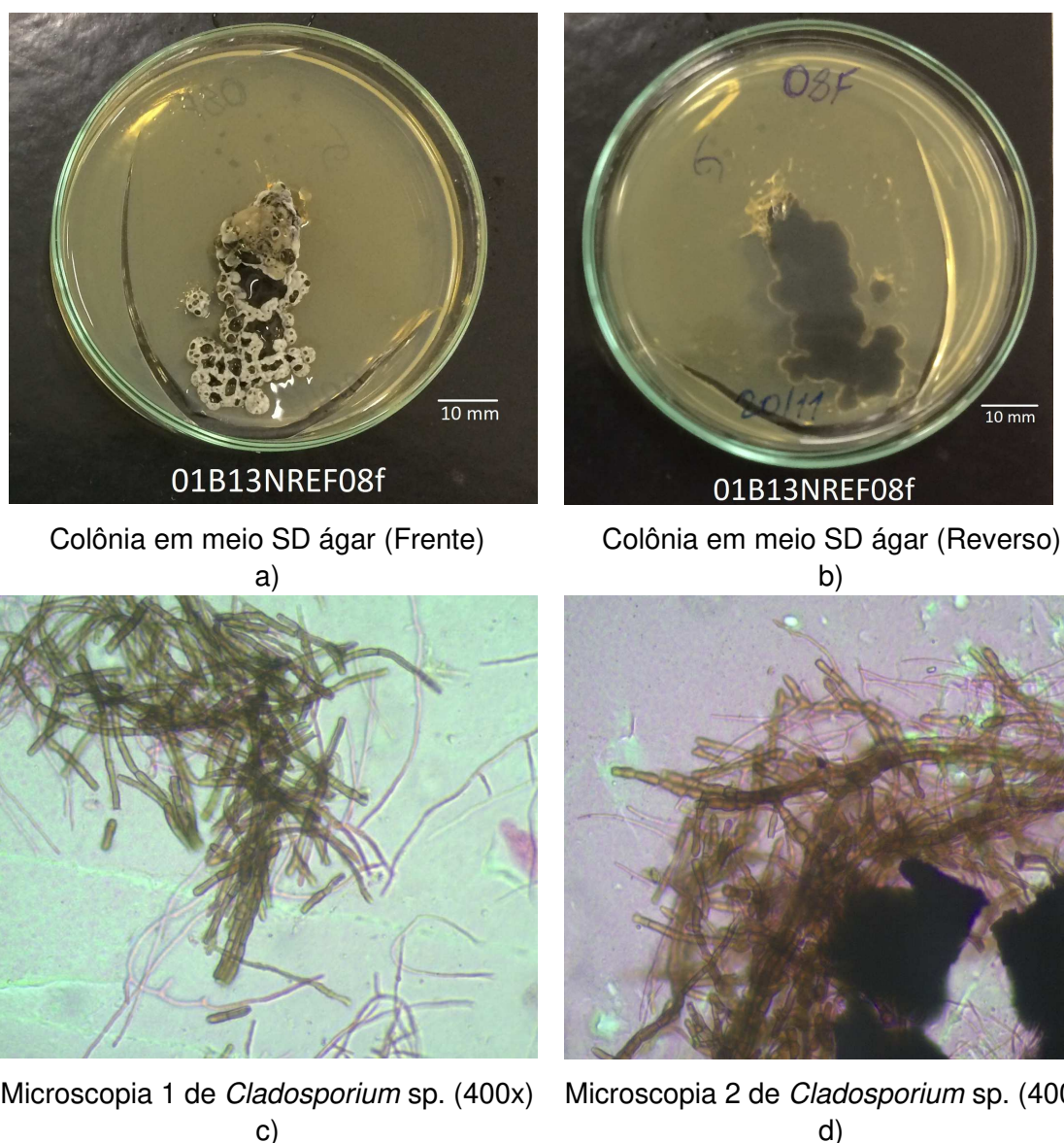


Macroscopicamente, a colônia possui coloração cinza-violácea, de aspecto algodonoso, e reverso amarelo-alaranjado, de acordo com a) e b), da Figura 57. Em sua microscopia, segundo c) e d), pode-se visualizar peritécios escuros globosos, com apêndices no perídio.

#### 4.1.3.6.6 *Cladosporium* sp.

O fungo *Cladosporium* sp. foi identificado nas Coletas 01, 03 e 04, em duas espécies distintas, apresentadas a seguir. Na Figura 58, observa-se a morfologia macroscópica e microscópica do primeiro fungo.

Figura 58 – Primeiro fungo do gênero *Cladosporium*

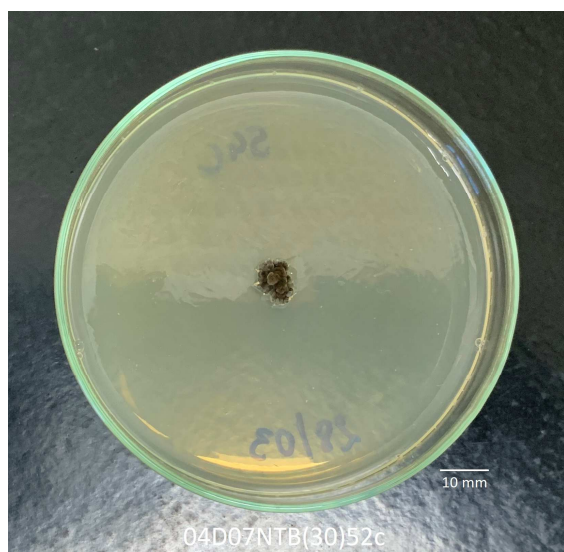


Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo a) e b) da Figura 58, a colônia possuía coloração cinza-olivácea, de aparência densa e velutina, e reverso preto. A morfologia microscópica, em c) e d), exibia hifas septadas pigmentadas, conidióforos pigmentados e eretos, retos ou flexuosos, ramificados na região apical e produzidos em cadeias que se desarticulam rapidamente.

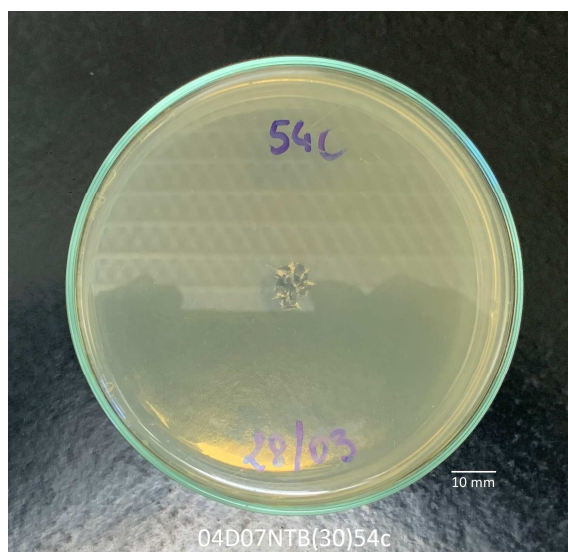
O segundo fungo de *Cladosporium* sp. está apresentado na Figura 59.

Figura 59 – Segundo fungo do gênero *Cladosporium*



Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



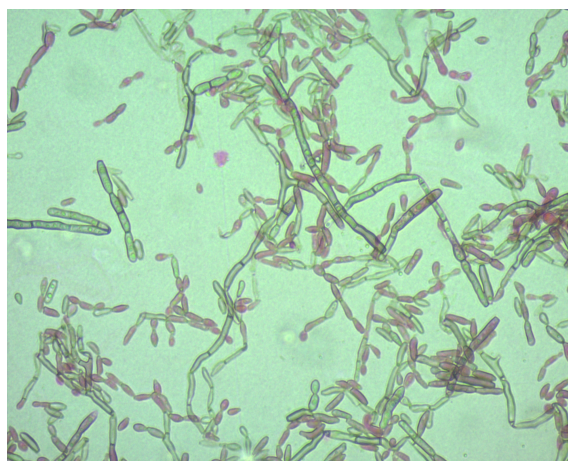
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Cladosporium* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Cladosporium* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia do segundo fungo de *Cladosporium* sp. possuía aparência densa, velutina, de coloração cinza-olivácea e reverso preto, porém, de tamanho reduzido,



conforme visualizado na Figura 59, em a) e b). Microscopicamente, observa-se em c) e d), hifas septadas pigmentadas, conidióforos pigmentados e eretos, retos ou flexuosos, ramificados na região apical, com conídios ovais ou em forma de limão, de tamanhos uniformes, produzidos em cadeias ramificadas que se desarticulam rapidamente.

#### 4.1.3.6.7 *Cladophialophora* sp.

Identificou-se ainda, uma espécie de *Cladophialophora* durante a Coleta 05. Estes são fungos bastante semelhantes ao *Cladosporium* sp., porém, com algumas diferenças na morfologia microscópica, conforme visualiza-se na Figura 60.

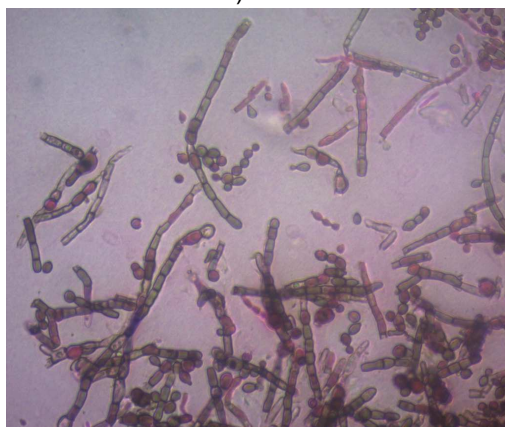
Figura 60 – Fungo do gênero *Cladophialophora*



Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)

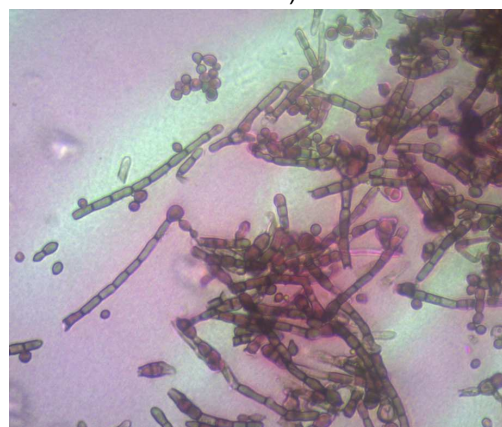


Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microsc. 1 de *Cladophialophora* sp. (400x)

c)



Microsc. 2 de *Cladophialophora* sp. (400x)

d)

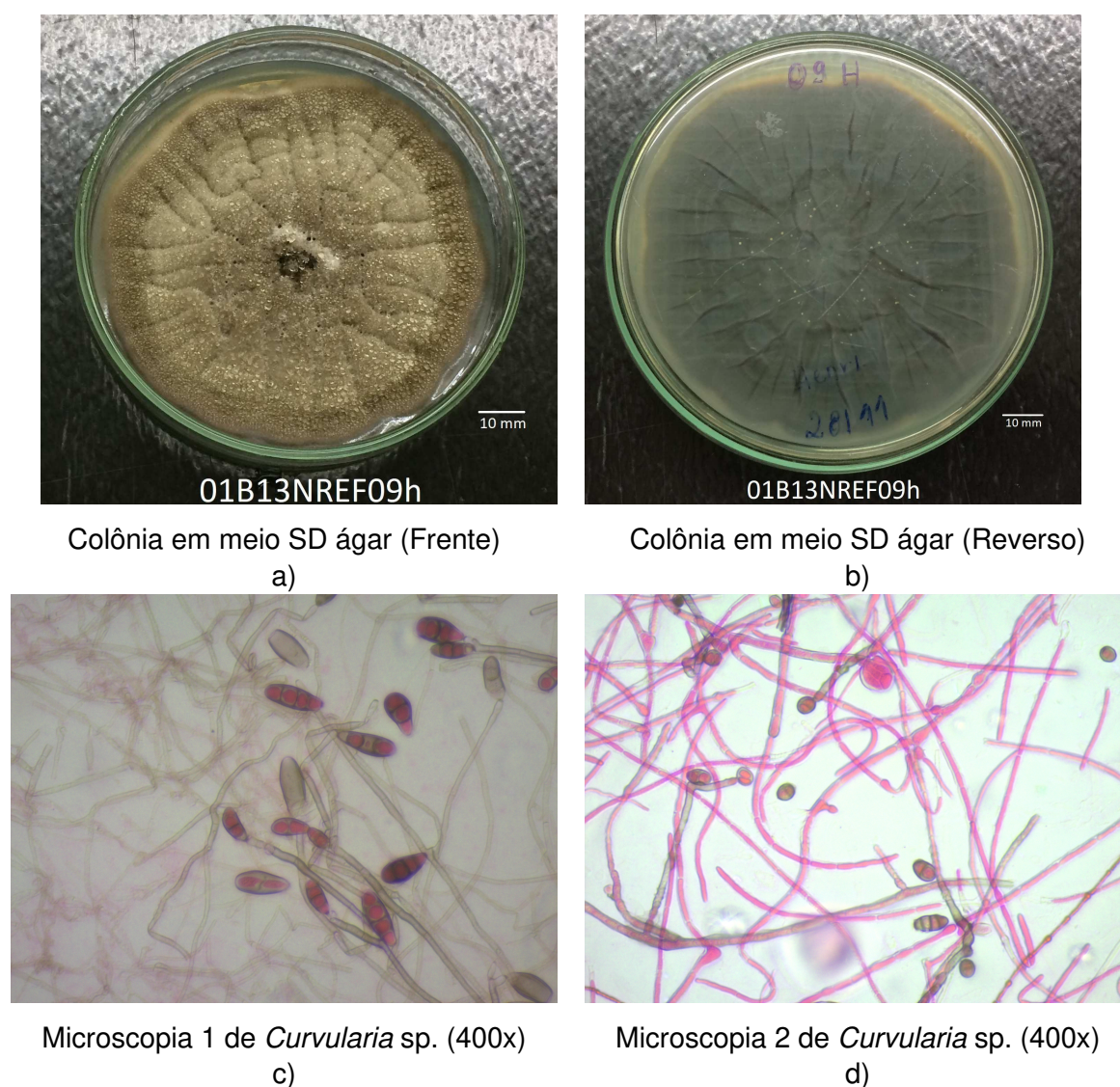
Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a Figura 60, em a) e b), observa-se uma colônia de aspecto aveludado, coloração cinza-olivácea e reverso preto, semelhantemente aos fungos *Cladosporium* sp. A microscopia, apresentada em c) e d), exibia conídios formados em cadeias acrópetas, unicelulares, castanho claros, de paredes lisas, fusiformes ou em formato de limão, com cicatriz na extremidade dos conídios.

#### 4.1.3.6.8 *Curvularia* sp.

Bastante abundantes nesta pesquisa, os fungos *Curvularia* sp. foram identificados na maioria dos casos, em três principais espécies. Inicialmente, a Figura 61 exibe a morfologia macroscópica e microscópica da primeira colônia.

Figura 61 – Fungo do gênero *Curvularia*



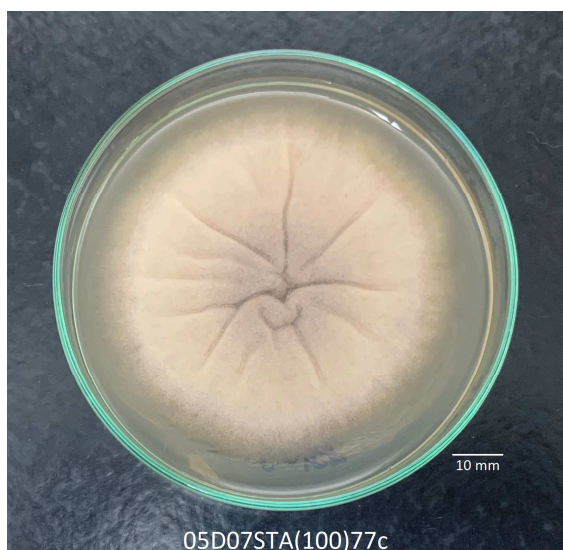
Fonte: Elaborado pelo autor



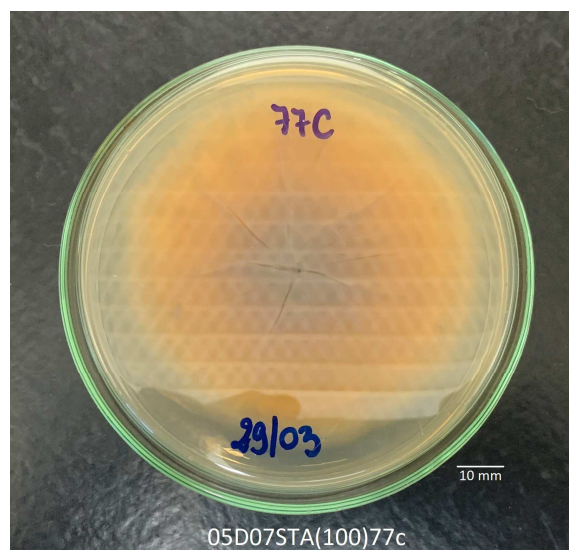
A colônia possui aspecto de camurça, de coloração cinza-marrom e reverso preto, conforme verifica-se em a) e b), na Figura 61. Analisando a microscopia, em c) e d), visualizam-se hifas septadas, conidióforos retos, flexionados, septados, frequentemente geniculados, com conídios elipsoidais, curvos, arredondados nas extremidades, apresentando normalmente quatro septos de tons variados de marrom.

Na Figura 62, observa-se a morfologia macroscópica e microscópica de uma segunda espécie de *Curvularia*.

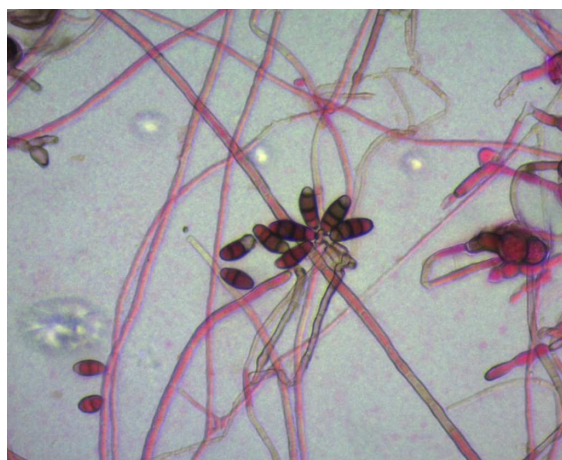
Figura 62 – Fungo 2 do gênero *Curvularia*



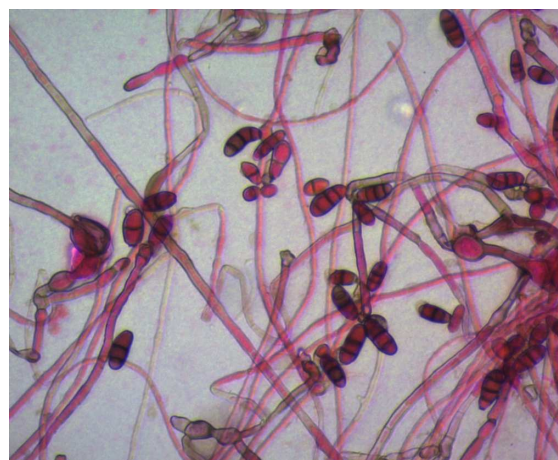
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Curvularia* sp. (400x)  
c)



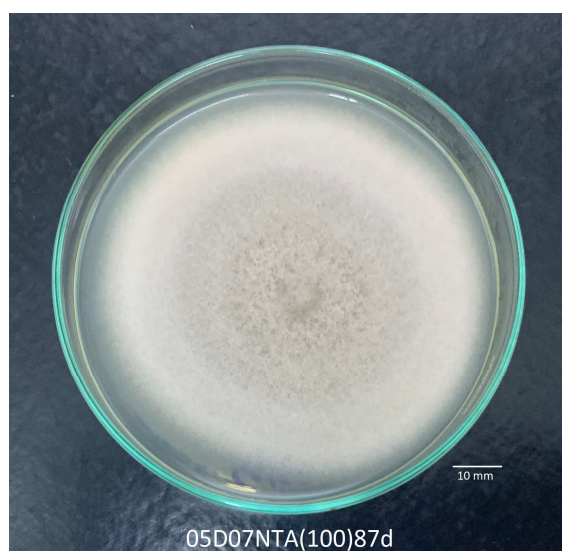
Microscopia 2 de *Curvularia* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se pela Figura 62, em a) e b), uma colônia de aparência de camurça, de coloração cinza-marrom e reverso castanho-amarelado. A morfologia microscopia, em c) e d), apresentava hifas septadas, conidióforos retos, flexionados, septados, frequentemente geniculados, com conídios elipsoidais, curvos, arredondados nas extremidades, apresentando normalmente quatro septos de tons variados de marrom.

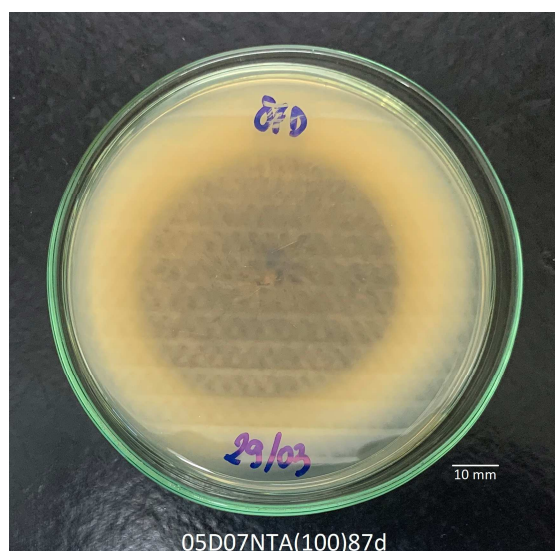
A Figura 63 apresenta a morfologia de uma terceira espécie de *Curvularia*.

Figura 63 – Fungo 3 do gênero *Curvularia*



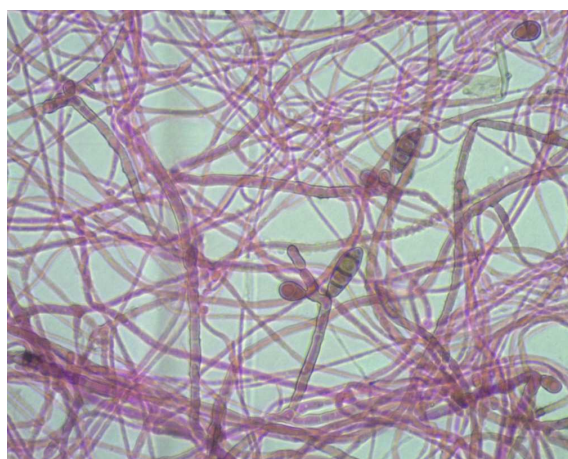
Colônia em meio SD ágar (Frente)

a)



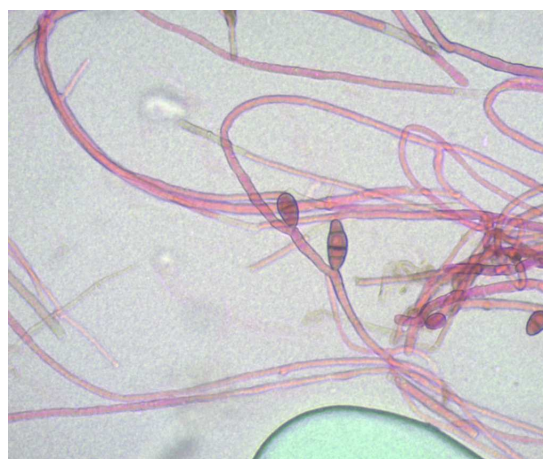
Colônia em meio SD ágar (Reverso)

b)



Microscopia 1 de *Curvularia* sp. (400x)

c)



Microscopia 2 de *Curvularia* sp. (400x)

d)

Fonte: Elaborado pelo autor

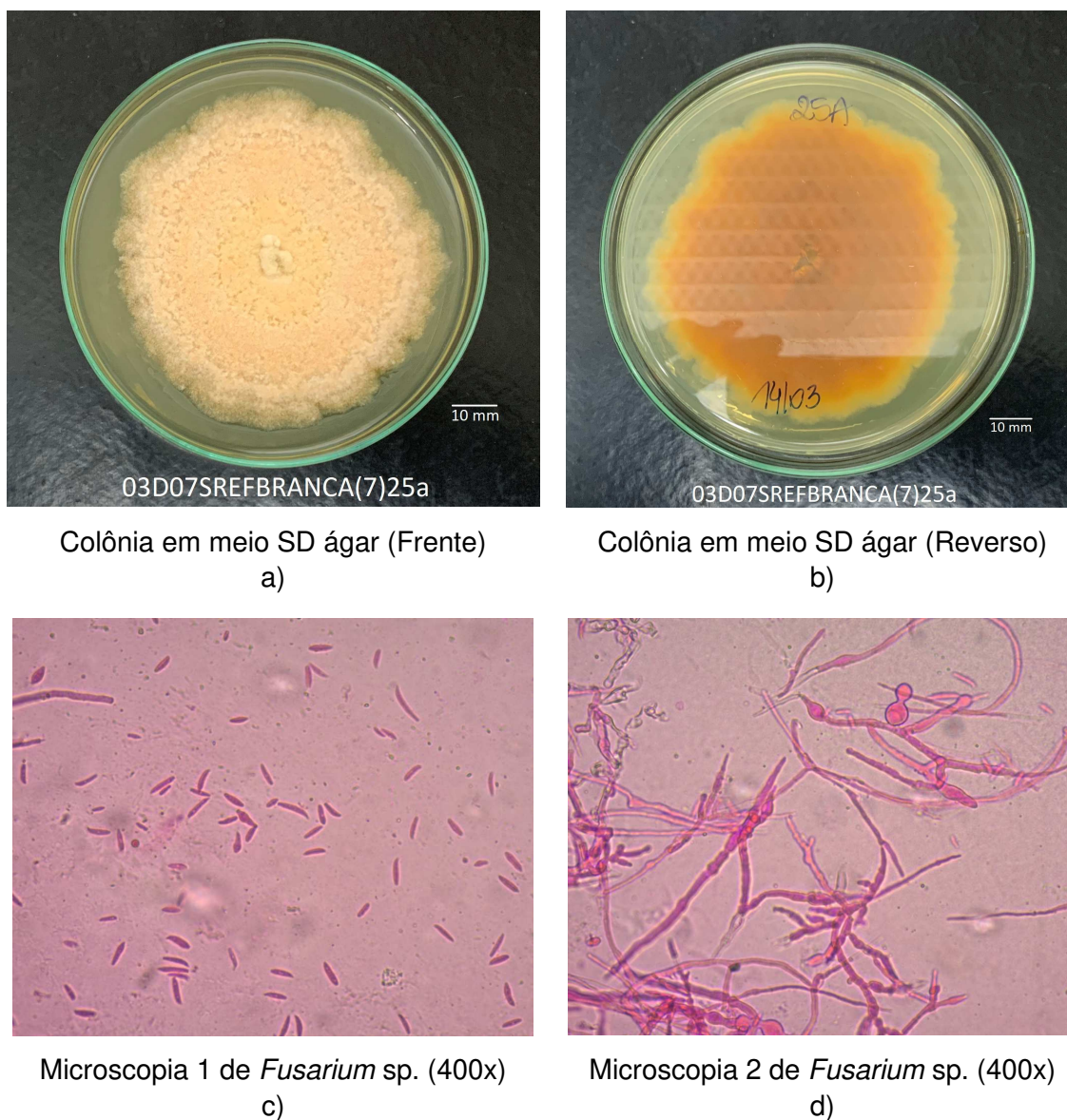


A colônia possuía aparência algodonosa, de coloração cinza-marrom e reverso castanho-amarelado a marrom, apresentada em a) e b), da Figura 63. A microscopia, assim como nos outros casos, apresentou conídios elipsoidais, curvos, arredondados nas extremidades, apresentando normalmente quatro septos de tons variados de marrom.

#### 4.1.3.6.9 *Fusarium* sp.

As colônias do fungo *Fusarium* sp. foram identificados nas Coletas 03 e 04. A Figura 64 exibe o primeiro fungo do gênero *Fusarium*.

Figura 64 – Fungo do gênero *Fusarium*



Fonte: Elaborado pelo autor

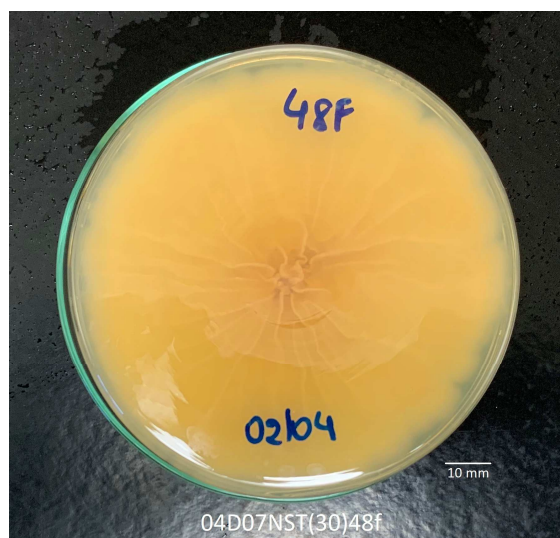
Por meio da Figura 64, em a) e b), identifica-se uma colônia plana, de coloração salmão e reverso de tonalidade alaranjada a marrom. Em seguida, efetuada a análise microscópica apresentada em c) e d), verificou-se conídios falciformes, curvos, separados por septos transversais.

A Figura 65 apresenta a morfologia macroscópica e microscópica de uma sugenda espécie de *Fusarium*.

Figura 65 – Segundo fungo do gênero *Fusarium*



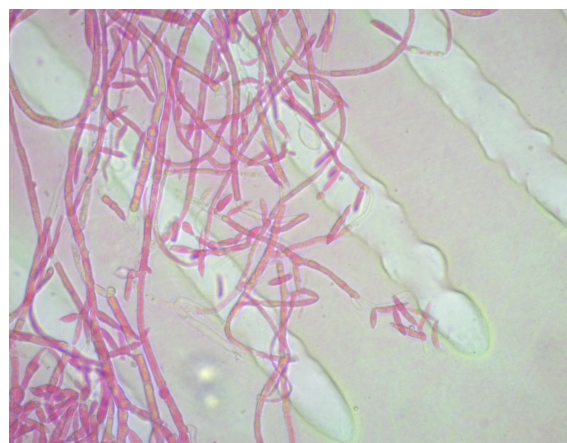
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Fusarium* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Fusarium* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia apresentada em a) e b), da Figura 65, tinha aparência algodoadosa, de coloração branca e reverso incolor. Microscopicamente, em c) e d), identificaram-

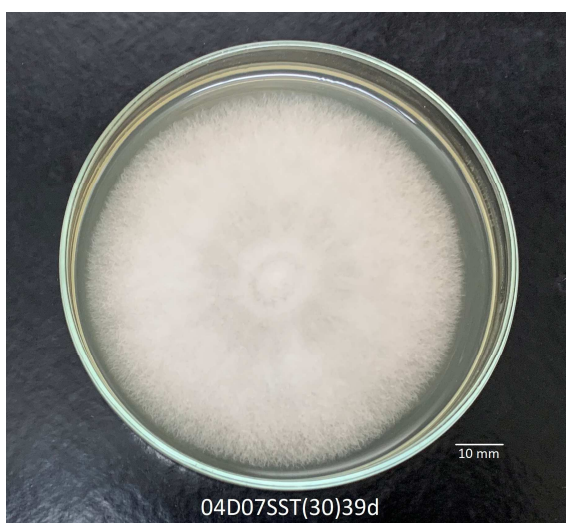


se hifas septadas, conidióforos curtos, conídios falciformes, unicelulares e curvos, separados por septos transversais.

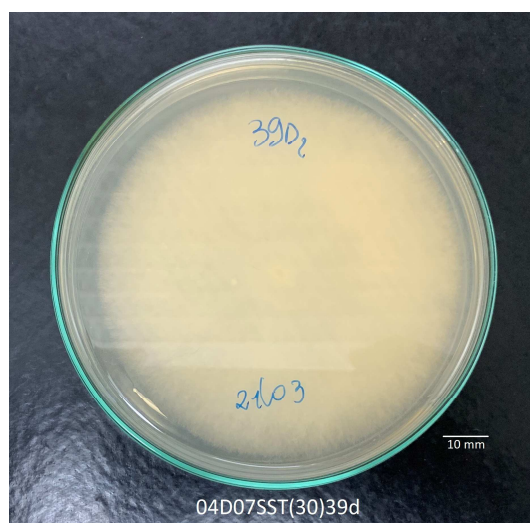
#### 4.1.3.6.10 *Mycelia sterilia*

O fungo *Mycelia sterilia*, identificado nas coletas 01, 04 e 05, está apresentado na Figura 66.

Figura 66 – Fungo do gênero *Mycelia sterilia*



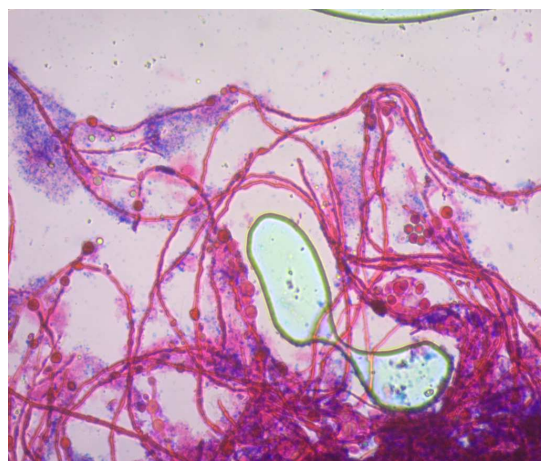
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Mycelia sterilia* (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Mycelia sterilia* (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia exibia coloração branca, de aparência algodonosa e reverso incolor, conforme apresentado em a) e b), da Figura 66. Pela microscopia, em c) e d), pode-se visualizar clamidósporos e hifas vegetativas.

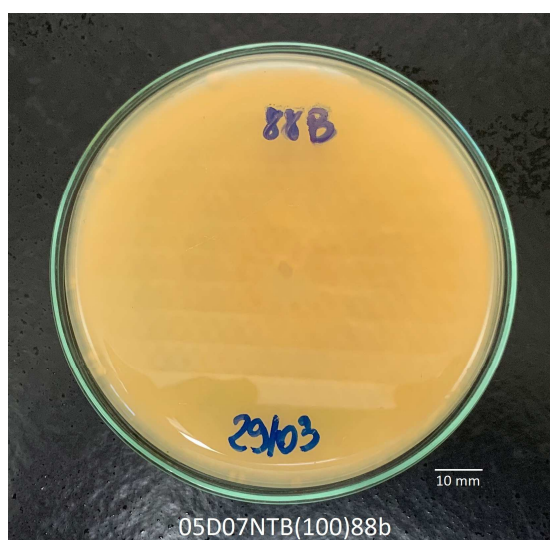
#### 4.1.3.6.11 *Nigrospora* sp.

O fungo *Nigrospora* sp., apresentado pela Figura 67, foi identificado durante a Coleta 05.

Figura 67 – Fungo do gênero *Nigrospora*



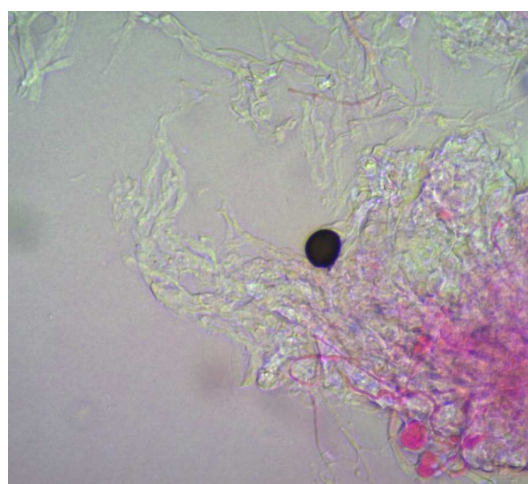
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Nigrospora* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Nigrospora* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor



De acordo com a Figura 67, em a) e b), a colônia apresentou crescimento rápido, aparência plana, de coloração branca-acinzentada e reverso incolor. A morfologia microscópica, em c) e d), exibia conidióforos semimacronematosos, hialinos, ramificados e lisos. Conídios isolados, pretos, brilhantes, globosos a elipsoidais, lisos e sem septos.

#### 4.1.3.6.12 *Penicillium* sp.

A seguir, apresentam-se duas espécies de *Penicillium*, ambas identificadas na Coleta 01. Na Figura 68, apresenta-se a primeira colônia.

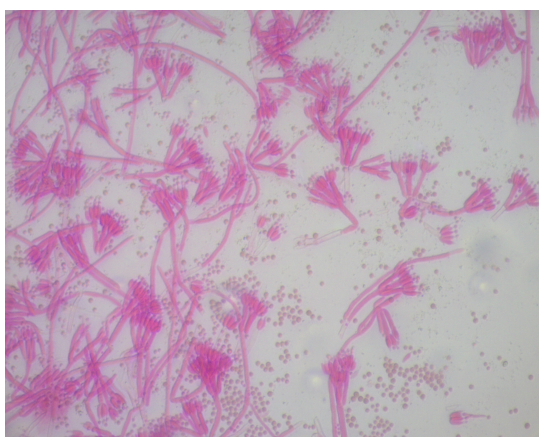
Figura 68 – Primeiro fungo do gênero *Penicillium*



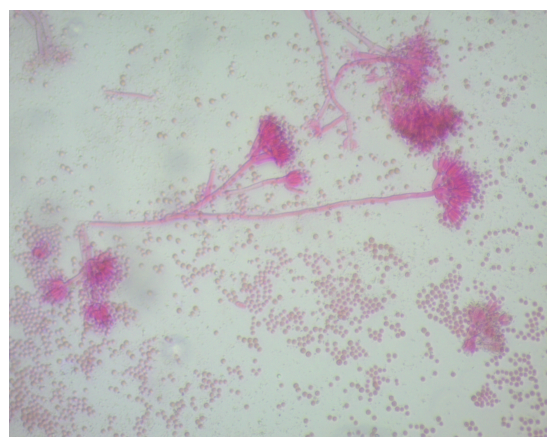
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Penicillium* sp. (400x)  
c)



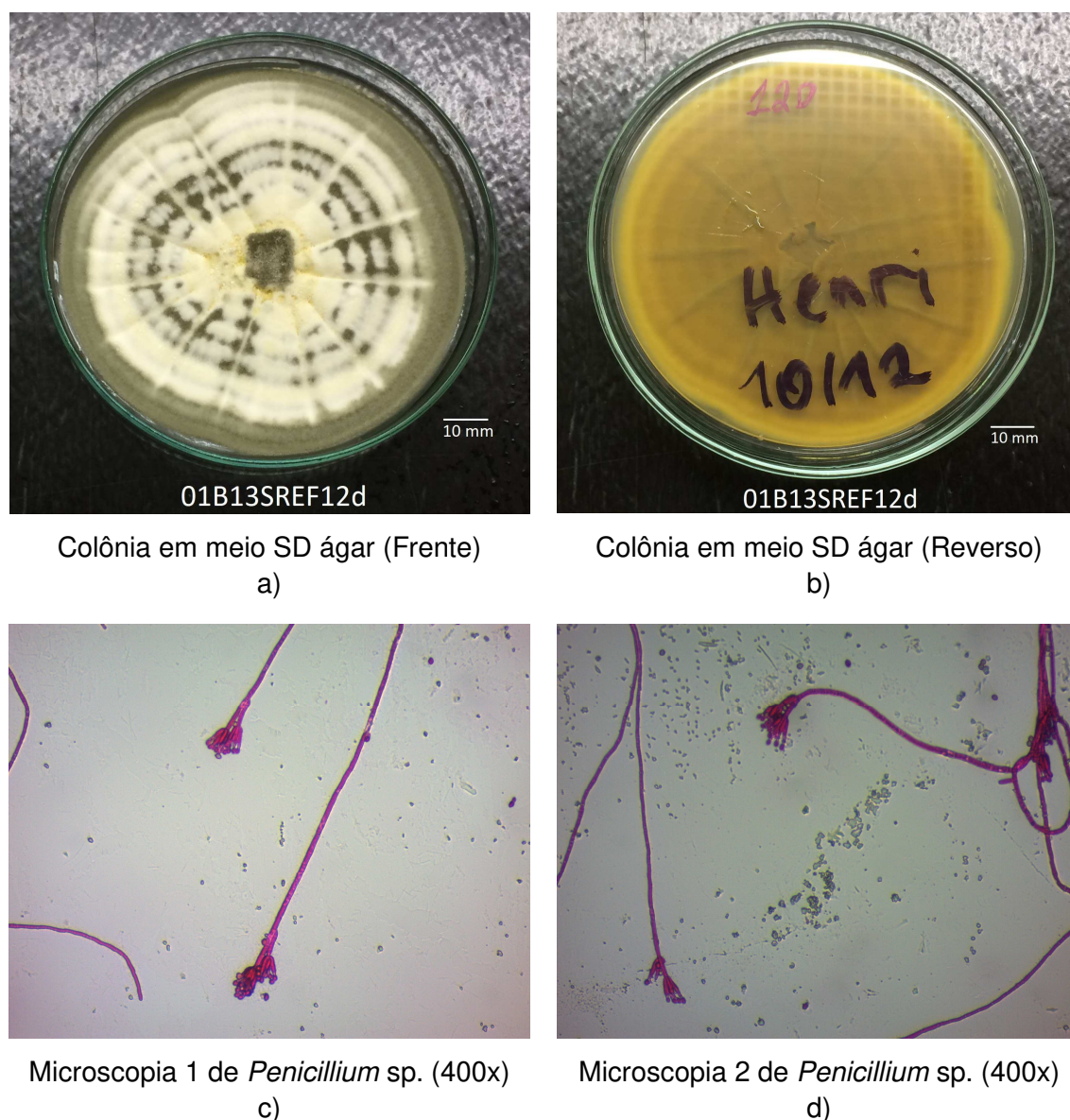
Microscopia 2 de *Penicillium* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia possuía coloração verde, bordas brancas, com o reverso de cor pálida e amarelada. Exibia sulcos radiados e excretava pelo micélio gotículas de exsudato de coloração amarelada, conforme visualizado em a) e b), da Figura 68. Em continuidade, a microscópica apresentou em c) e d), estipes e métulas, de onde provém fiálides em formato de frasco. Os conídios eram unicelulares, lisos e globosos.

O segundo fungo *Penicillium* sp. está apresentado na Figura 69.

Figura 69 – Fungo 2 do gênero *Penicillium*



Fonte: Elaborado pelo autor

A colônia apresentada em a) e b), da Figura 69, possuía aparência de feltro, coloração verde e branca, e reverso de cor amarelada. Além disso, exibia sulcos

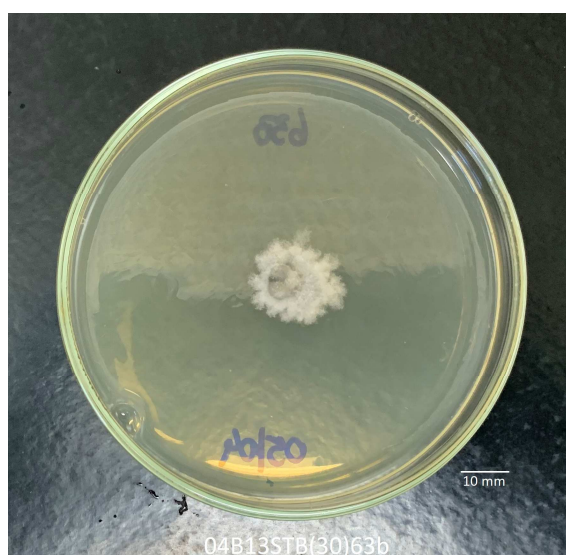


radiados e concêntricos e excretavam, assim como a primeira colônia, gotículas de exsudato de coloração amarela. A microscopia, em c) e d), apresenta estipes longas, métulas e fiáides em forma de frasco, semelhante a uma escova. Os conídios são unicelulares, pigmentados e de formato globoso a cilíndrico.

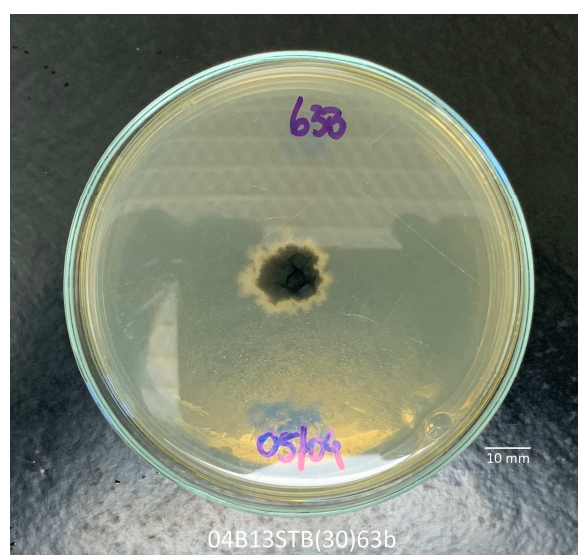
#### 4.1.3.6.13 *Tripospermum* sp.

Por último, a espécie de *Tripospermum* identificada durante a Coleta 04 foi apresentada na Figura 70.

Figura 70 – Fungo 2 do gênero *Tripospermum*



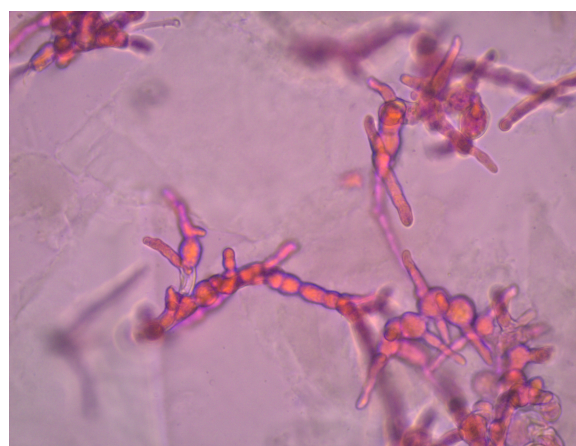
Colônia em meio SD ágar (Frente)  
a)



Colônia em meio SD ágar (Reverso)  
b)



Microscopia 1 de *Tripospermum* sp. (400x)  
c)



Microscopia 2 de *Tripospermum* sp. (400x)  
d)

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a Figura 70, em a) e b), a colônia possuía coloração acinzentada, crescimento lento e aéreo, e reverso cinza-escuro a preto. A morfologia microscópica, em c) e d), exibia conídios tipicamente trirradiais planares, de maior largura na base, mais finos e hialinos próximo as pontas, septados e desiguais em tamanho.

## 4.2 ANÁLISES DA SUPERFÍCIE DOS REVESTIMENTOS

Discute-se aqui, os resultados obtidos na investigação de amostras de sistemas de fachadas, quanto à deterioração pela ação fúngica em pinturas dos revestimentos externos, análise da espessura dos biofilmes e rugosidade média das superfícies.

Para tanto, avaliaram-se as películas das tintas nas condições originais de biodeterioração em que as fachadas foram encontradas (Coleta 01), 1 dia após a limpeza e desinfecção (Coleta 02), e aproximadamente 6 meses após o procedimento de repintura com Tintas A e B, verificando a condição dos tratamentos.

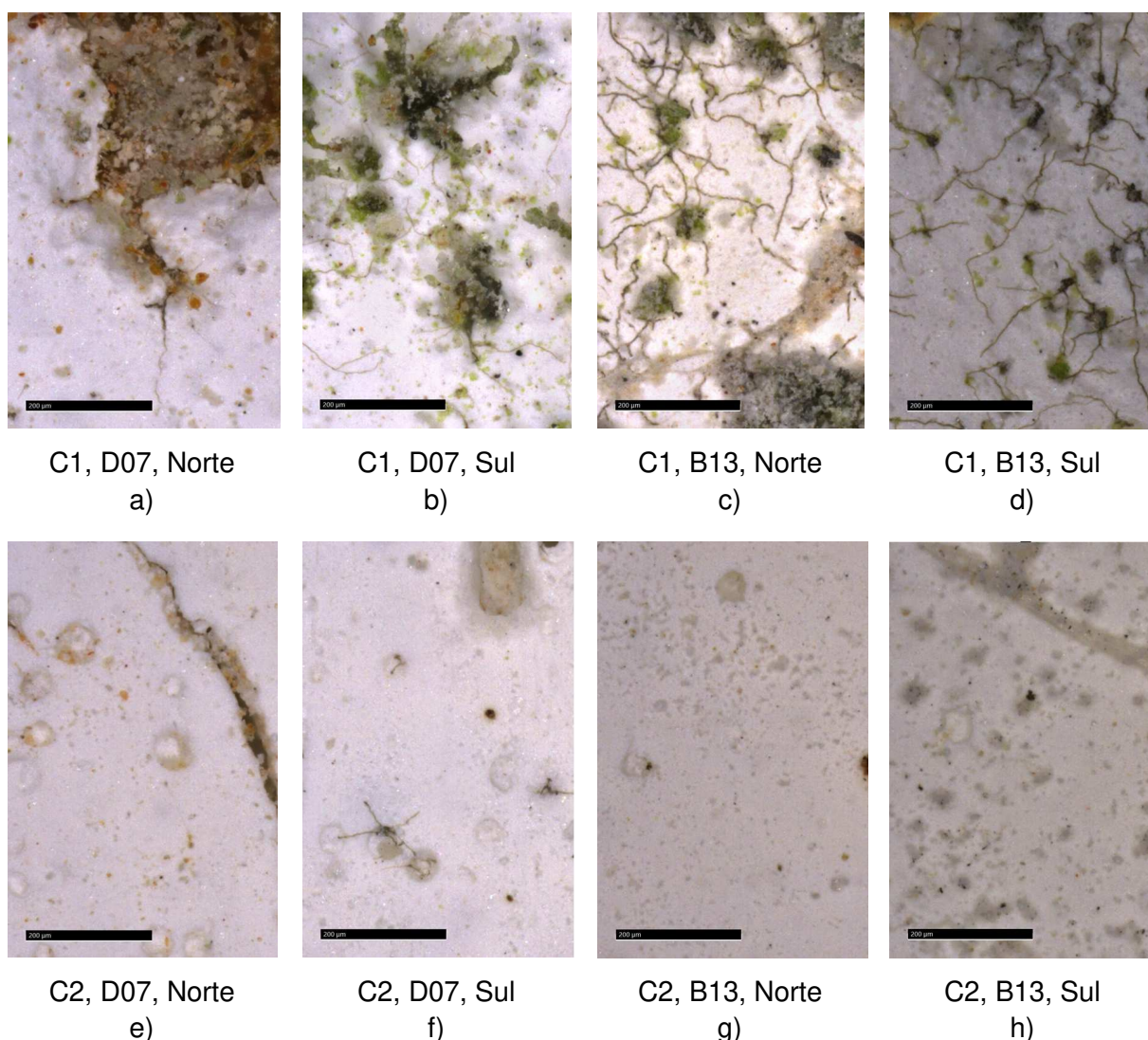
### 4.2.1 Deterioração das Pinturas dos Prédios D07 e B13

Em ambas as edificações, efetuaram-se inspeções detalhadas das superfícies das amostras por meio de microscópio digital. Nestas, buscaram-se corroborar as bibliografias no que se refere à formação de biofilmes, ancoragem dos micélios fúngicos, deposição de esporos e perda de aderência entre camadas.

Para isto, de modo comparativo, as Figura 71 e Figura 72 apresentam, lado a lado, as imagens realizadas em cada uma das quatro fachadas avaliadas, para as Coletas 01, 02 e 06. Inicialmente, verificaram-se os biofilmes maduros encontrados em ambos os prédios nas condições originais, e a eficiência do procedimento de limpeza na sua remoção. Posteriormente, os tratamentos (ST, TA e TB) foram inspecionados aproximadamente 6 meses após a pintura das áreas avaliadas, comparando aos resultados obtidos nas Coletas 01 e 02.

A Figura 71 exhibe as imagens realizadas com amostras da Coletas 01 e 02, sob condições originais e após o procedimento de limpeza das fachadas, respectivamente.

Figura 71 – Investigação das amostras das superfícies dos revestimentos dos prédios D07 e B13, entre as Coletas 01 (C1) e 02 (C2), em um aumento de 400x



Escalas de 200 µm de a) a h).

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando as imagens da Figura 71, nota-se claramente a diferença entre a deterioração por microrganismos nas fachadas das Coletas 01, de a) a d) e Coleta 02, de e) a h), confirmando o efeito positivo do procedimento de limpeza. Na Coleta 01, para as fachadas do prédio D07, em a) e b), por exemplo, fica evidente a deterioração avançada pela ação dos microrganismos. Além disto, verifica-se na fachada norte, o desenvolvimento fúngico na interface entre o substrato e a película da tinta, crescendo de dentro para fora, e ocasionando o deslocamento da película de proteção. De fato, diversos autores, como Bravery (1988) *apud* Ferrari *et al.* (2015), Shirakawa *et al.* (2002) e Woodward (2012), atribuem este deslocamento, e

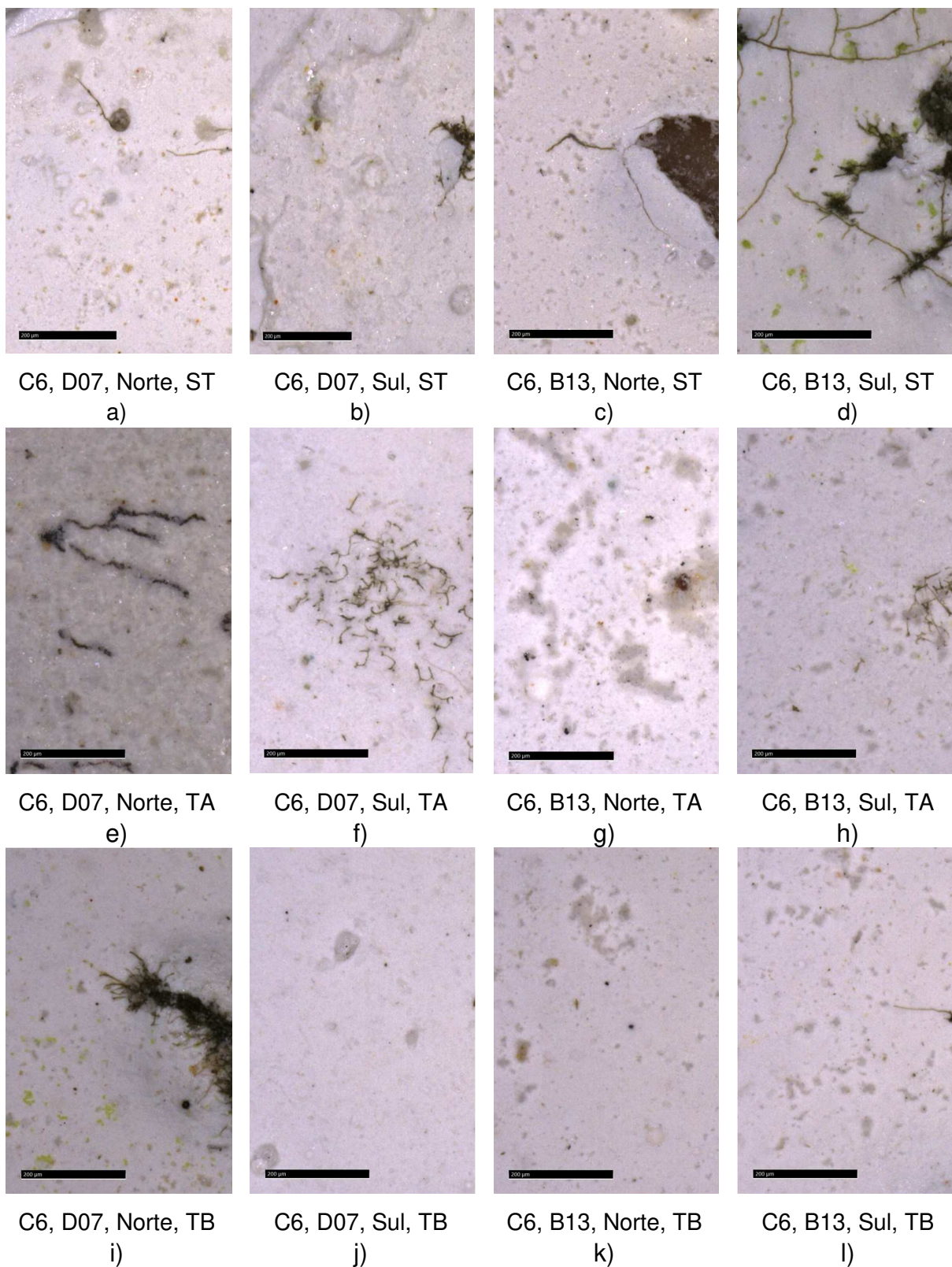
consequente perda de aderência, aos fungos colonizadores não removidos previamente aos procedimentos de pintura. Este fator pode reduzir consideravelmente a durabilidade das pinturas. Nas fachadas norte e sul do prédio B13, em c) e d), identificam-se biofilmes maduros formados pela sobreposição de diferentes microrganismos, que conferem a massa colorações acinzentadas, alaranjadas e verde-claro (algas). Somado a isto, percebe-se a deposição de organismos mortos, provavelmente digeridos e espalhados pela superfície. Tais fatores assemelham-se as descrições de biofilmes realizadas por Allsopp, Keal e Gaylarde (2004) e Schulte, Wingender e Flemming (2004). Em todas as fachadas nas condições originais, também foi possível visualizar a fixação de micélios ancorados nos substratos

Na Coleta 02, realizada nos prédios D07 e B13, de e) a h), observa-se que, mesmo em quantidade bastante inferior, constatarem-se pontos de coloração escura e alaranjada, principalmente em fissuras ou irregularidades nas superfícies, visto que estes locais se mantêm úmidos por um maior período de tempo e ainda facilitam a ancoragem dos microrganismos. Estima-se visualmente uma remoção de aproximadamente 90% a 95% dos biofilmes formados ao longo do tempo, sendo que Allsopp, Seal e Gaylarde (2004) sugeriram uma eficiência de até 98% para o procedimento aplicado. Todavia, em termos de números de abundância e riqueza obtidos pelas coletas microbiológicas já apresentadas, esta eficiência é reduzida.

Novamente, após 181 dias do procedimento de repintura com as Tintas A e B, os tipos de tratamentos propostos tiveram suas superfícies avaliadas. A Figura 72 exhibe para as três situações previstas (ST, TA e TB), a biodeterioração das fachadas durante um período de aproximadamente seis meses após a demarcação e pintura das áreas.



Figura 72 – Investigação das amostras das superfícies dos revestimentos dos prédios D07 e B13, na Coleta 06 (C6), em um aumento de 400x



\*Escala de 200 µm de a) a l).

Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando as imagens da Figura 72, destaca-se a importância da repintura após a limpeza e desinfecção dos revestimentos, com o objetivo de prolongar a proteção dos sistemas de fachadas. Inicialmente, avaliando as áreas Sem Tratamento (ST), em a) e b), imagens da superfície do revestimento do prédio D07, identificou-se a fixação de micélios sobre os substratos. Para o prédio B13, em c) e d), aproximadamente meio ano após o procedimento de limpeza, visualiza-se o desenvolvimento fúngico entre a película de tinta e a argamassa, ocasionando a fissuração e o seu deslocamento. Corrobora-se, portanto, os estudos de Bravery (1988) *apud* Ferrari *et al.* (2015), Shirakawa *et al.* (2002) e Giuseppe (2013), no que se refere à proliferação de fungos na interface entre camadas, acelerando a deterioração das pinturas.

Quanto as áreas pintadas com Tinta A e B, no prédio D07, em e) e f), e i) e j), respectivamente, concluiu-se a respeito de uma maior biodeterioração em comparação ao prédio B13, pela fixação de micélios e desenvolvimento de fungos que produzem pigmentação escura. Gómez-Alarcón *et al.* (1995) e Gaylarde e Gaylarde (2005) identificaram a maior presença de fungos em relação a outros microrganismos em superfícies pintadas, pela abundância de carbono orgânico. Neste mesmo prédio, identificaram-se também alguns esporos depositados sobre a superfície das fachadas, iniciando as etapas de seu ciclo reprodutivo. Por fim, a imagem em i), exibe uma abertura de aproximadamente 100 µm com crescimento de colônias de dentro para fora. Isto provavelmente ocorreu em função de esporos remanescentes não removidos completamente com o procedimento de limpeza, desenvolvendo-se lentamente sob a película da nova tinta até o rompimento da camada. No prédio B13, de acordo com as imagens g) e h), e k) e l), percebe-se efeitos mais brandos sobre as películas das tintas. Todavia, localizaram-se pontos de deposição de esporos, ancoragem dos micélios, e fases iniciais de formação de biofilmes de dimensões reduzidas.

#### 4.2.1.1 Esporos de fungos sobre as películas das tintas

Fazendo uma relação entre as análises microbiológicas e da superfície dos revestimentos, buscou-se encontrar os mesmos esporos fúngicos identificados em laboratório, desta vez, depositados sobre as películas das tintas. Os resultados destas verificações constam na Figura 73.

Figura 73 – Esporos fúngicos depositados sobre a película das tintas dos prédios B13 e D07, em aumento de 1000x.



C6, B13, Sul, TB – Esporo de *Curvularia* sp.  
a)



C6, D07, Sul, TB – Esporo de *Curvularia* sp.  
b)



C6, D07, Sul, ST – *Cladosporium* sp.  
c)



C6, D07, Sul, TB – Esporo de *Nigrospora* sp.  
d)

Escalas de 100 µm de a) a d).

Fonte: Elaborado pelo autor



Foi possível encontrar sobre a superfície das amostras dos revestimentos as estruturas de um *Cladosporium* sp., e esporos de *Curvularia* sp. e *Nigrospora* sp., efetuando, a partir disto, algumas análises e comparações com as coletas microbiológicas.

Em princípio, visualiza-se em a) e b), da Figura 73, possíveis esporos de *Curvularia* sp., semelhantes aos observados nas microscopias em tamanho, forma e coloração. Conforme indicam Giudice e Pereyra (2009) e Guerra *et al.* (2012), as etapas do ciclo reprodutivo de fungos filamentosos iniciam a partir da deposição do esporo sobre substrato, e deste, a germinação de um filamento, ou hifa, que dá origem aos micélios, como pode ser visto em a). Além disso, possíveis colônias de *Cladosporium* sp. foram identificadas em c), pela semelhança com conidióforos septados e pigmentados dispostos em cadeias ramificadas e desarticuladas. Por fim, em d), reconhece-se o conídio isolado, globoso, preto, brilhante e sem septos, semelhante ao produzido pelo fungo *Nigrospora* sp.

Shirakawa *et al.* (2002) sugerem que climas subtropicais favorecem o crescimento de fungos como *Curvularia* sp. e *Nigrospora* sp., o que pode justificar um aumento da esporulação e deposição sobre os substratos. Em complemento, os estudos de Mezzari *et al.* (2002), Schulte, Wingender e Flemming (2004) e Menezes *et al.* (2004) citam os fungos *Cladosporium* sp., *Curvularia* sp. e *Nigrospora* sp., dentre os principais identificados em suspensão no ar. Assim, o vento age como dispersor dos propágulos e fragmentos de hifas, depositando-os sobre a superfície das películas.

Finalmente, quando comparadas as fachadas em que os esporos foram identificados e a Tabela 14, que resume os fungos presentes nas coletas microbiológicas, constata-se que, de fato, o fungo *Cladosporium* sp. desenvolveu-se sobre a área Sem Tratamento (ST), e por conseguinte, o *Curvularia* sp. e *Nigrospora* sp., sobre a Tinta B. Porém, em nenhum caso, nos mesmos prédios ou fachadas apresentadas pela Figura 73.

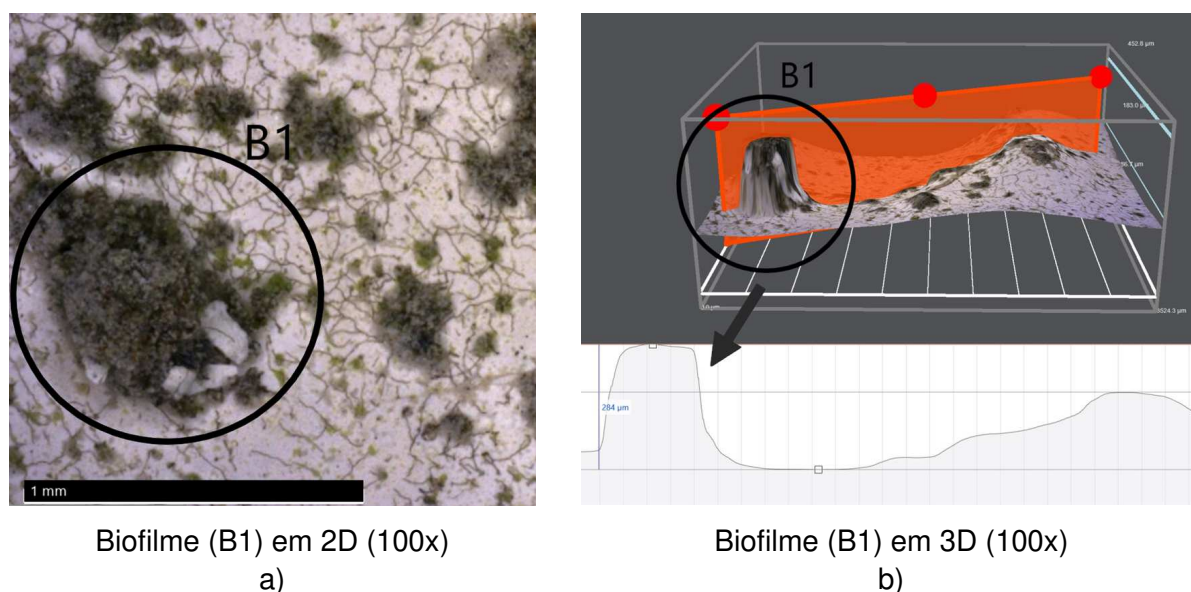
#### 4.2.2 Investigação dos biofilmes

Com o objetivo de obter uma altura média dos biofilmes maduros formados sobre os sistemas de revestimentos de fachadas, utilizou-se as amostras da Coleta

01, visto que esta obviamente apresentava as piores condições de biodeterioração. De acordo com Dubosc (2000), Allsopp, Seal e Gaylarde (2004), Schulte, Wingender e Flemming (2004), Gaylarde *et al.* (2011) e Giuseppe (2013), um biofilme maduro possui uma espessura média que varia entre poucos micrometros até milímetros, conferindo uma aparência suja, com manchas de coloração majoritariamente pretas, verdes e vermelhas. Normalmente, a visualização destes biofilmes ocorre em um período menor do que 12 meses, modificando as condições originais dos substratos.

A Figura 74 apresenta a imagem de um biofilmes aleatório em 2D, e seu respectivo perfil em 3D, ambos elaborados pelo microscópio digital para verificação das alturas.

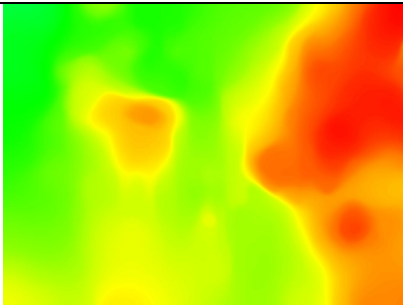
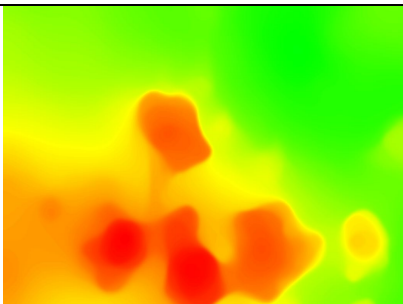
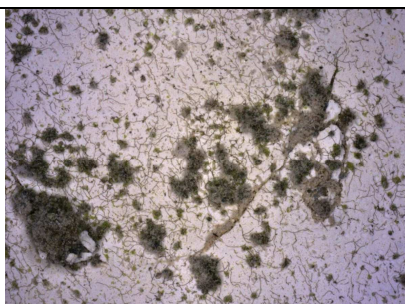
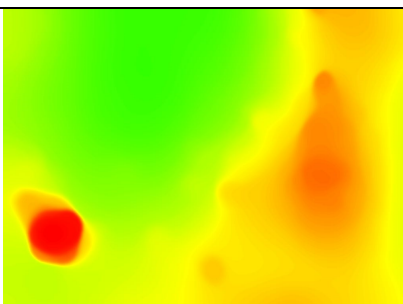
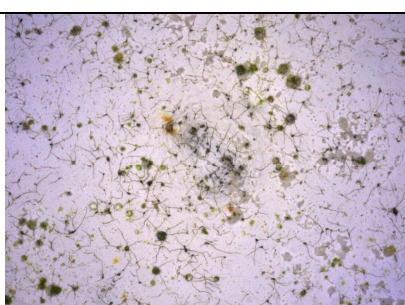
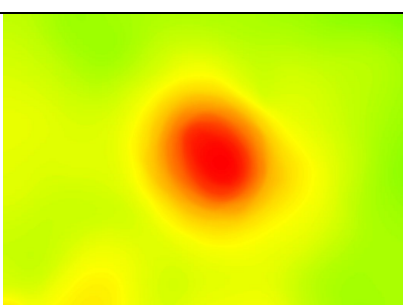
Figura 74 – Verificação da altura dos biofilmes formados sobre a superfície das fachadas.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 74 apresenta o método de inspeção, sendo B1, o biofilme identificado em a), pelo rastreamento 2D, e medido em b), pelo corte da superfície em 3D. Para cada umas amostras dos revestimentos das fachadas foram medidas três alturas distintas, realizando média, desvio padrão, coeficiente de variação e um intervalo de confiança para um nível de significância de 0,05. As informações relativas ao cálculo da espessura dos biofilmes estão apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Verificação da altura média dos biofilmes formados sobre a superfície dos revestimentos

| Imagem                                                                              | Histograma*                                                                          | Altura (μm) | Alt. Média (μm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Edificação D07 – Orientação Norte                                                   |                                                                                      |             |                 |
|    |    | 216         | 178             |
|                                                                                     |                                                                                      | 172         |                 |
|                                                                                     |                                                                                      | 145         |                 |
| Edificação D07 – Orientação Sul                                                     |                                                                                      |             |                 |
|   |   | 249         | 310             |
|                                                                                     |                                                                                      | 290         |                 |
|                                                                                     |                                                                                      | 392         |                 |
| Edificação B13 – Orientação Norte                                                   |                                                                                      |             |                 |
|  |  | 209         | 235             |
|                                                                                     |                                                                                      | 211         |                 |
|                                                                                     |                                                                                      | 284         |                 |
| Edificação B13 – Orientação Sul                                                     |                                                                                      |             |                 |
|  |  | 336         | 302             |
|                                                                                     |                                                                                      | 201         |                 |
|                                                                                     |                                                                                      | 369         |                 |

Histograma: Cores quentes, pontos mais altos; Cores frias, pontos mais rasos (avaliação qualitativa)

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores das alturas dos biofilmes nas quatro fachadas variaram entre 145  $\mu\text{m}$  até 392  $\mu\text{m}$ , chegando a uma altura média final de 256  $\mu\text{m}$ . Para as medidas realizadas, o desvio padrão foi de 78,56, com um coeficiente de variação de 30,67%. Com isto, admitindo um nível de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ), obteve-se um Intervalo de Confiança (IC) = 44  $\mu\text{m}$ . Portanto, os biofilmes medidos neste trabalho possuem uma altura média de  $256 \pm 44 \mu\text{m}$ .

#### 4.2.3 Rugosidade dos Revestimentos de Fachadas

Sabe-se que, a morfologia impacta diretamente na biodeterioração das superfícies ao longo do tempo. Autores como Barberousse (2006), Lapa (2008), Wiktor *et al.* (2009), Giuseppe (2013), Ferrari *et al.* (2015) e Rizzardo (2016) verificaram a biorreceptividade de materiais, concluindo que a rugosidade é um fator determinante para a formação de biofilmes, visto que facilita a fixação dos microrganismos nas superfícies.

Assim, entende-se que os prédios avaliados, mesmo construídos com materiais de propriedades semelhantes, não possuem as mesmas características. Portanto, verificou-se a rugosidade média dos prédios D07 e B13, a fim de relacionar com os resultados das coletas microbiológicas e discutir a sua influência sobre a abundância e riqueza de fungos colonizadores.

Para tanto, aplicou-se o mesmo conceito demonstrado na Figura 74 (verificação da altura dos biofilmes), porém neste caso, efetuou-se um corte ao longo de uma faixa da amostra, preferencialmente lisa (sem biofilmes ou material orgânico depositado), buscando alturas relacionadas à rugosidade da superfície. Isto ocorreu nas amostras da Coleta 06, obtendo-se nove medidas de alturas distintas por fachadas, realizando nestas, média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança para um nível de significância de 0,05. As informações relativas ao cálculo da rugosidade média dos prédios D07 e B13 estão apresentadas na Tabela 35.

Tabela 35 – Verificação da rugosidade média dos revestimentos das fachadas norte e sul, dos prédios D07 e B13

| Edificação D07 – Orientação Norte |              |              |              |                  |                 |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------------|
| Acabamento                        | Valor 1 (μm) | Valor 2 (μm) | Valor 3 (μm) | Valor Médio (μm) | Rug. Média (μm) |
| ST                                | 106          | 89           | 51           | 82               | 79              |
| TA                                | 82           | 69           | 81           | 77               |                 |
| TB                                | 83           | 76           | 72           | 77               |                 |
| Edificação D07 – Orientação Sul   |              |              |              |                  |                 |
| Acabamento                        | Valor 1 (μm) | Valor 2 (μm) | Valor 3 (μm) | Valor Médio (μm) | Rug. Média (μm) |
| ST                                | 62           | 48           | 69           | 60               | 71              |
| TA                                | 81           | 67           | 104          | 84               |                 |
| TB                                | 65           | 91           | 47           | 68               |                 |
| Edificação B13 – Orientação Norte |              |              |              |                  |                 |
| Acabamento                        | Valor 1 (μm) | Valor 2 (μm) | Valor 3 (μm) | Valor Médio (μm) | Rug. Média (μm) |
| ST                                | 177          | 129          | 222          | 176              | 145             |
| TA                                | 196          | 127          | 117          | 147              |                 |
| TB                                | 97           | 128          | 108          | 111              |                 |
| Edificação D07 – Orientação Sul   |              |              |              |                  |                 |
| Acabamento                        | Valor 1 (μm) | Valor 2 (μm) | Valor 3 (μm) | Valor Médio (μm) | Rug. Média (μm) |
| ST                                | 178          | 168          | 211          | 186              | 170             |
| TA                                | 256          | 265          | 194          | 238              |                 |
| TB                                | 146          | 45           | 69           | 87               |                 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de rugosidade das fachadas do prédio D07 variaram entre 47  $\mu\text{m}$  e 106  $\mu\text{m}$ , obtendo a uma rugosidade média final de 75  $\mu\text{m}$ , desvio padrão de 15,28 e coeficiente de variação de 20,48%. Com isto, admitindo um nível de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ), obteve-se um Intervalo de Confiança (IC) = 6  $\mu\text{m}$ . Neste caso, o prédio D07 possui uma rugosidade média de aproximadamente  $75 \pm 6$   $\mu\text{m}$ . Para o prédio B13, os valores variaram entre 45  $\mu\text{m}$  e 265  $\mu\text{m}$ , chegando a uma rugosidade

média final de 157  $\mu\text{m}$ , desvio padrão de 58,22 e coeficiente de variação de 36,99%. Com isto, admitindo um nível de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ), obteve-se um Intervalo de Confiança (IC) = 23  $\mu\text{m}$ . Portanto, indica-se que o prédio B13 possui uma rugosidade média de aproximadamente  $157 \pm 23 \mu\text{m}$ .

De acordo com os resultados obtidos, o prédio B13 possui maior rugosidade que o D07, o que realmente é percebido "*in loco*". Ressalta-se que este parâmetro não é o único utilizado para definir maior ou menor biodeterioração de fachadas, e que existem inúmeras variáveis importantes que influenciam na abundância e riqueza de fungos e demais microrganismos. Contudo, a rugosidade aumenta sim, a biorreceptividade dos revestimentos, o que no decorrer do tempo pode contribuir negativamente na formação de biofilmes e ancoragem de organismos vivos. De fato, as Figura 40 e Figura 43 comparam a abundância e riqueza dos fungos nos dois prédios, sendo que para a Coleta 01, obteve-se valores próximos, porém, com maior quantidade de colônias isoladas e gêneros encontrados no prédio B13, diferentemente dos resultados das Coletas 04 e 05, em que D07 possuiu maior abundância e riqueza de fungos. Com isto, entende-se que provavelmente o fator rugosidade possua uma influência mais tardia, em comparação às demais variáveis, como as características locais.





## 5 CONCLUSÃO

A ação dos fungos e demais microrganismos tem papel fundamental na deterioração de componentes da edificação, desvalorização estética e danos à saúde humana.

Em virtude disto, buscam-se alternativas viáveis para que se possa estender a durabilidade dos substratos pintados, mantendo suas propriedades originais por tempo prolongado. Uma das soluções parte da aplicação de diferentes compostos biocidas na formulação das tintas, a fim de atender este fim.

No entanto, ressalta-se que nenhum biocida é capaz de resolver todos os problemas oriundos da deterioração pela ação dos microrganismos. Logo, deve-se conhecer as limitações dos produtos aplicados e entender que as manutenções periódicas são indispensáveis para a durabilidade das edificações.

As análises realizadas em dois prédios (D07 e B13) tinham o objetivo de avaliar a abundância e riqueza dos fungos e seus efeitos deteriorantes sobre as diferentes condições e acabamentos de pintura dos revestimentos externos.

Dessa maneira, ao longo das Coletas 01 a 05, foram isoladas colônias de fungos de 13 gêneros distintos, apresentados em ordem decrescente de predominância: *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Curvularia* sp., *Cladosporium* sp., *Beauveria* sp., *Mycelia sterilia*, *Penicillium* sp., *Acremonium* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., *Cladophialophora* sp., *Nigrospora* sp. e *Tripospermum* sp.

O fungo *Alternaria* sp. revelou-se como o principal colonizador das fachadas inspecionadas, frequente em todas as coletas. Apesar disso, percebe-se que nas áreas pintadas com a Tinta B, este fungo foi identificado em apenas uma situação, o que pode indicar uma ação efetiva dos compostos biocidas presentes nesta tinta.

O fungo *Aspergillus* sp., com maior quantidade de colônias isoladas em 3 das 5 coletas, desenvolveu-se em todos os tratamentos (ST, TA e TB) avaliados, sugerindo uma sensibilidade das tintas a este gênero. Percebeu-se ainda, uma rápida colonização deste fungo após a limpeza e desinfecção, provavelmente relacionada a alta quantidade de esporos suspensos no ar, que se depositam sobre o substrato.

Com base nos resultados das coletas microbiológicas, verificou-se a existência de diferenças significativas na abundância e riqueza de fungos entre os

prédios (D07 e B13), entre as condições originais em que as fachadas foram encontradas (Coleta 01) e após o procedimento de limpeza (Coletas 02 e 03), e entre as áreas Sem Tratamento (ST) e pintadas com Tinta B (TB). Por outro lado, não houve diferenças significativas entre as fachadas orientadas a norte e sul, entre o 1º e o 7º dia após a limpeza, tampouco entre as Tintas A e B.

As áreas Sem Tratamento (ST), limpas e desinfetadas, desenvolveram aproximadamente duas vezes mais colônias de fungos do que os tratamentos com Tinta A (TA) e Tinta B (TB).

Na comparação entre as Tintas A e B, em termos de abundância, a Tinta B (TB) apresentou o melhor desempenho.

No que se refere a riqueza, a área Sem Tratamento (ST) apresentou sensibilidade a 8 gêneros de fungos (*Acremonium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladophialophora* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp. e *Mycelia sterilia*), a Tinta A, somente a 4 gêneros de fungos (*Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Curvularia* sp., e *Mycelia sterilia*), e por último, a Tinta B, a 7 gêneros de fungos (*Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Cladosporium* sp., *Tripospermum* sp., *Alternaria* sp., *Nigrospora* sp. e *Curvularia* sp.) Portanto, apesar dos melhores resultados na abundância, a Tinta B, no que se delimita esta pesquisa, apresentou maior sensibilidade aos diferentes gêneros de fungos colonizadores.

Com relação a análise das superfícies dos revestimentos, de modo geral, as fachadas nas condições originais apresentaram a formação de biofilmes maduros, ancoragem de micélios de fungos e a presença de diferentes microrganismos. Após a limpeza, positivamente, observou-se a remoção de grande parte deste biofilme, contudo, fica clara a permanência de esporos, micélios e microrganismos remanescentes fixados sobre o substrato. Estes, posteriormente desenvolvem-se sob a nova película de tinta aplicada, de dentro para fora, ocasionando a perda de aderência e o deslocamento das películas protetoras.

Percebe-se que, quando pintadas as fachadas com as Tintas A e B, a proteção da camada de revestimento foi aumentada, ocorrendo sim, os efeitos deteriorantes pela ação dos microrganismos, porém, de forma mais branda.

Relacionando as colônias de fungos identificadas em laboratório com as microscopias das superfícies dos revestimentos, identificou-se a possível estrutura de um *Cladosporium* sp., além de esporos de *Curvularia* sp. e *Nigrospora* sp.

depositados sobre o substrato. Estes, fixam-se sobre a película das tintas iniciando o seu ciclo reprodutivo.

Mediram-se também as alturas dos biofilmes e a rugosidade média dos prédios D07 e B13. Em princípio, os biofilmes formados sobre as fachadas durante a Coleta 01 obtiveram uma altura média de  $256 \pm 44 \mu\text{m}$ . Concluiu-se ainda que, dentre os prédios avaliados, B13 possui maior rugosidade do revestimento, e por consequência, tende a apresentar uma maior biorreceptividade com o passar do tempo.

De maneira geral, os objetivos específicos da pesquisa foram atendidos, obtendo conclusões a respeito da riqueza e abundância dos fungos e seus efeitos deteriorantes, da comparação antes e depois da limpeza, dos tratamentos propostos, e das orientações das fachadas.



## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABDEL-RAHIM, I.R.; NAFADY, N.A.; BAGY, M.M.K.; ABD-ALLA, M. H.; ABD-ALKADER, A. M. Fungi-induced paint deterioration and air contamination in the Assiut University hospital, Egypt. **Indoor and Built Environment**. 0(0). pg. 1-17. 2018. DOI: 10.1177/1420326X18765256 journals.sagepub.com/home/ibe.

AINA, V.O.; ADEWUMI, A.A.J.; HARUNA, H.; ZAKARI, A. Isolation and Identification of Fungi Associated with the Deterioration of Painted Wall surfaces within Kaduna Polytechnic. **Asian Journal of Medical Science**. V. 3(6). pg. 250-253. 2011.

ALLSOPP, D.; SEAL, K.J.; GAYLARDE, C.C. **Introduction to Biodeterioration**. 2.ed. United Kingdom: Cambridge University Press, 2004.

ARTEAGA, E.B.; SILVA, M.S.; CHATEAUNEUF, A.; SILVA, M.R. Coupled reliability model of biodeterioration, chloride ingress and cracking for reinforced concrete structures. **Structural Safety**. v. 30, pg. 110-129. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS (ABRAFATI) – **Números do Setor de Tintas**. São Paulo. 2018. Disponível em: <<https://www.abrafati.com.br/numeros/>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

BALARAM, P. Biodeterioration of Paint: a State of the Art Review. **Current Science**. v.97. p. 289–290, 2009.

BARBEROUSSE, H. **Etude de la diversité des algues et des cyanobactéries colonisant les revêtements de façade em France et recherche des facteurs favorisant leur implantation**. 2006. 193f. Tese (Doutorado do Museu Nacional de História Natural) – MNHN PARIS. Paris, França. 2006.

BEECH, I.B.; GAYLARDE, C.C. Microbial polysaccharides and corrosion. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 27, p. 95–107, 1991. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0265-3036\(91\)90002-9](http://dx.doi.org/10.1016/0265-3036(91)90002-9)

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M.A.; RITTI, R. **Limpeza de Fachadas de Argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia, 1995. Anais... Goiânia, 1995. p.411- 419.

BRAGA, C.C. **Manifestações patológicas em conjuntos habitacionais: a degradação de fachadas**. Recife. Dissertação (mestrado) – Pró-reitoria de ensino, pesquisa e extensão (PROESPE), Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

BRAUN, J. H. White Pigments. In: KOLESKE, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 19, p. 185-203.

BRAVERY, A. F. Biodeterioration of Paint: a State of the Art Review. **Biodeterioration 7**, eds. D.R. Houghton, R.M. Smith & H.O.W. Eggins. Elsevier: London, pp. 466–485, 1988. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-1363-9\\_63](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-1363-9_63)

BREITBACH, A.M. **Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa**. 2009. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho das edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013. 2 ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CENTRE FOR ADVANCED MAINTENANCE TECHNOLOGY (CAMTECH). **Comprehensive Guide Painting for Buildings**. Maharajpur: GWALIOR, 2007.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini. p. 549-554, 1988.

COSTA, F.N. **Processo de Produção de Revestimento de Fachada de Argamassa: Problemas e Oportunidades de Melhoria**. 2005. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CRISPIM, C.A.; GAYLARDE, C.C.; GAYLARDE, P.M. Biofilms on church walls in Porto Alegre, RS, Brazil, with special attention to cyanobacteria. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 54, p. 121–124, 2004.

DIOGO, G. M. Q. **Análise e proposta de melhorias no processo de produção dos revestimentos de argamassa de fachadas de edifícios**. 2007. 178p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2007.

DUBOSC, A. **Etude du développement de salissures biologiques sur les parements en béton: mise au point d'essais accélérés de vieillissement**. 2000. 250p. Dissertação – Instituto Nacional de Ciências Aplicadas de Toulouse, Toulouse, 2000.

DUBOSC, A.; ESCADEILLAS, G.; BLANC, P.J. Characterization of biological stains on external concrete walls, and influence of concrete as underlying material. **Cement and Concrete Research**. v.31, p.1613-1617, 2001.

ELLIS, D.; KIDD, S. **Mycology Online - Department of Microbiology & Immunology and Adelaide Science Online at the University of Adelaide**. 1998. Disponível em: <<https://mycology.adelaide.edu.au/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

ENVIRONMENTAL CONTRATING RESTORATION. Fact Sheets: introduction to Fungi (Mold). Disponível em: <[http://www.ecometrex.com/mold\\_introduction.htm](http://www.ecometrex.com/mold_introduction.htm)>. Acesso em: 20 dez. 2012.

FAGUNDES, V.O. **Micologia Clínica da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre**. 2014. Disponível em: <<https://micologiaclinicauf.wixsite.com/micoclinicaufcspa>>. Acesso em: 30 fev. 2019.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas imobiliárias de qualidade: o livro de rótulos da ABRAFATI**. São Paulo: Blucher, 2008.

FAZENDA, J. M. R.; DINIZ, F. D. Introdução, história e composição básica. In: FAZENDA, J. M. R. **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: ABRAFATI, 1995. cap. 1, p. 39-48.

FERRARI, C.; SANTUNIONE, G.; LIBBRA, A.; MUSCIO, A.; SGARBI, E.; SILIGARDI, C.; BAROZZI, G. S. Review on the influence of biological deterioration on the surface properties of buildings materials: organisms, materials, and methods. **Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics**. v.10, n.1, pg. 21-39. 2015.

FREITAS, M.M.S. **Clima do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/clima-do-rio-grande-do-sul/>> Acesso em: 01 jun. 2018

FRIEL, J. M.; NUNGESSER, E. Acrylic Polymers as Coatings Binders. In: KOLESKÉ, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 6, p. 49-64.

GAYLARDE, C. C.; MORTON, L.H.G. Deteriogenic biofilms on buildings and their control: A review, Biofouling. **The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**. v. 14, p. 59–74, 1999. DOI: 10.1080/08927019909378397.

GAYLARDE, C. C.; MORTON, M. Biodeterioration of mineral materials. **Enc. of Environ- mental Microbiology**, Wiley: NY. p. 515–528, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/0471263397.env135>

GAYLARDE, C.C.; GAYLARDE, P. M. A comparative study of the major microbial biomass on exterior buildings in Europe and Latin America. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 55. p.131-139, 2005.

GAYLARDE, C.C.; MORTON L. H. G.; LOH, K.; SHIRAKAWA, M.A. Biodeterioration of external architectural paint films e A review. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 65. p.1189-1198, 2011.

GEHBAUER, F., *et al.* **Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Espanha**. Curitiba: CEFET-PR, 520 p., 2002.

GIANNANTONIO, D.J.; KURTH, J.C.; KURTIS, K.E.; SOBECKY, P.A. Molecular characterizations of microbial communities fouling painted and unpainted concrete structures. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.63. p.30-40, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.06.004>



GIMENES, L. J. **Fungos basidiomicetos: técnicas de coleta, isolamento e subsídios para processos biotecnológicos**. 2010. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, São Paulo, 2010.

GIUDICE, C. A.; PEREYRA, A.M. **Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y control de calidad**. 1. Ed. Buenos Aires: Edutecne, 2009.

GIUSEPPE, E. **Nearly zero energy buildings and proliferation of microorganisms: a current issue for highly insulated and airtight building envelopes: A Current Issue for Highly Insulated and Airtight Building Envelopes**. Londres: Springer. 2013.

GLADIS-SCHMACKA, F.; GLATZEL, S.; KARSTEN, U.; BOTTCHE, H.; SCHUMANN, R. Influence of local climate and climate change on aeroterrestrial phototrophic biofilms. **Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**, v.30:4. p.401-414, 2014. DOI: 10.1080/08927014.2013.878334

GOLDSCHMIDT, A.; STREITBERGER, H.-J. **BASF - Handbook on Basics of Coatings Technology**. 2ed. Hannover: Vicentz Network, 2007.

GÓMEZ-ALARCÓN, G.; MUNÓZ, M.L.; FLORES, M. Excretion of organic acids by fungal strains isolated from decayed. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 34, p. 169–180, 1995.

GU, J.D.; FORDB, T.E.; BERKEC, N.S.; MITCHELL, R. Biodeterioration of concrete by the fungus *Fusarium*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 41, p. 101–109, 1998.

GUERRA, F. L. **Biodeterioração de conjunto histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos**. 2012. 168p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

GUERRA, F. L.; CUNHA, E. G.; SILVA, A.C.S.B.; KNOP, S. Análise das condições favoráveis à formação de bolor em edificação histórica de Pelotas, RS, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 7-23, 2012.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HIRSCH, P.; ECKHARDT, F. E. W.; PALMER JR., R.J. Methods for the study of rock-inhabiting microorganisms – a mini review. **Journal of Microbiological Methods**, v.23, p.143-167, 1995. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-7012\(95\)00017-f](http://dx.doi.org/10.1016/0167-7012(95)00017-f)

HUGON, A. **Técnicas de construção**. São Paulo: Hemus/Imagem Digital, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Informações Cidade de São Leopoldo**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-leopoldo/panorama> > Acesso em: 01 jun. 2018.

Instituto Nacional de Saúde Pública do Quebec (INSPQ). - **Centro de Especialização e Referência em Saúde Pública**. 2016. Disponível em: <<https://www.inspq.qc.ca/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

JACKSON, S. M.; JONES, E. B. G. Fouling film development on antifouling paints with special reference to film thickness. **International biodeterioration & biodegradation**, v.24, p.277-287, 1988.

JOHN, D. M. Algal growth on buildings: a general review and methods of treatment. **Biodeterioration Abstracts**, v.2, p.81-102, 1998.

KLM TECHNOLOGY GROUP. **Painting repair procedure: project standards and specifications**. Malaysia, 2013.

KUENZEL, H.; SEDLBAUER, K. Biological growth on stucco. **Proceedings of the 8th international conference on performance of exterior envelopes of whole buildings**. Flórida. pg 1-5. 2001.

LACAZ, C.S.; PORTO, E.; HEINS-VACCARI, E.M.; MELO N.T. **Guia para identificação: fungos, actinomicetos, algas de interesse médico**. São Paulo: SARVIER, 1998.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56f. Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008

LEWIS, P. A. Inorganic Colored Pigments. In: KOLESKE, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 22, p. 234-238.

LIGOZZI, M. *et al.* A case of *Beauveria bassiana* keratitis confirmed by internal transcribed spacer and LSU rDNA D1–D2 sequencing. **New Microbes and New Infections: John Wiley & Sons**. p. 1–4, 2014.

MACEDO, E. C. **Principais grupos de fungos: uma interpretação com base em sua sistemática filogenética**. 2017. 22p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, São Paulo, 2017.

MADRID, H.; DA CUNHA, K.C.; GENÉ, J.; DIJKSTERHUIS, J.; CANO, J.; SUTTON, D. A.; GUARRO, J.; CROUS, P.W. Novel *Curvularia* species from clinical specimens. **Persoonia**. v.33. p.48–60, 2014

MAGYAR, D.; GONCZOL, J.; RÉVAY, A.; GRILLENZONI, F.; SEIJO-COELLO, M.D.C. Stauro- and scolecoconidia in floral and honeydew honeys. **Fungal Diversity**. v.20. p. 103–120, 2005.

MANFIO, G.P. **Microbiota: Versão Preliminar**. 72p. Centro Puridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas / CPQBA Divisão de Recursos Microbianos. UNICAMP, 2003.

MANNARI, V.; PATEL, C.J. **Understanding Coatings Raw Materials**. Hannover: Vicentz Network, 2015.

MARQUES, F. P. F. M. **Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão**. 2013. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Técnico Lisboa, Lisboa, 2013.

MARQUES, M. I. E. **Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil**. 3 ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2000.

MAY, E.; LEWIS, F.J.; PEREIRA, S.; TAYLOR, S.; SEAWARD, M.R.D. Microbial deterioration of building stone – a review. **Biodeterioration Abstracts**. v.7. p. 109–123, 1993.

MELO, C.; CARASEK, H. Relationship between the Deterioration of Multi Story Buildings Facades and the Driving Rain. **Revista de la Construcción**, v.13(1), p.64-73, 2014.

MENDES, F. M. V. P. **Durabilidade das fachadas ventiladas: aplicação da norma ISO 15686-1**. 2009. 58p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

MENEZES, E.A; TRINDADE, E.C.P; COSTA, M. M.; FREIRE, C.C.F; CAVALCANTE, M.S; CUNHA, F. A. Airbone fungi isolated from Fortaleza city, state of Ceará, Brazil. **Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo**. N. 46. (3). p. 133-137, 2004.

MERCHAK, P. Colored Organic Pigments. In: KOLESKA, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 21, p. 215-233.

METEOBLUE. **Clima São Leopoldo**. Disponível em:  
<[https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/s%C3%A3o-leopoldo\\_brasil\\_3448622](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/s%C3%A3o-leopoldo_brasil_3448622)> Acesso em: 27 ago. 2017.

MEZZARI, A.; PERIN, C.; SANTOS JÚNIOR, S. A.; BERND, L.A.G. Airbone fungi in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. **Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo**. N. 44 (5). p. 269-272, 2002.

MILLS, G. D. The Analysis of Coating Failures. In: KOLESKA, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 69, p. 830-848.

MORAIS, A. I. B. **Soluções de reabilitação de fachadas com revestimentos em ladrilhos cerâmicos**. 2007. 150p. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2007.

MOURA, G.R; JUNIOR, W.S.S. Transformações e tendências na história da engenharia civil: do trabalho manual à sustentabilidade. **VII Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar (EPPC)**. Maringá. 2013.

NAKAMURA, J. Projeto de fachadas. **Revista Técnica**, v.92, 2004.

O'NEILL, T. B. Succession and interrelationships of microorganisms on painted surfaces. **International biodeterioration & biodegradation**, v.24, p.373-379, 1988.

PATINHO GUÍO, L.M. **Compostos orgânicos voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. 2013. 222p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PELCZAR, J. M.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N.R; **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

PELCZAR, J. M.; **Microbiologia**. 2 Vol. São Paulo: Mcgraw-Hill, 1981.

PERFECTUS BIOMED. **Anti-Biofilm Technologies**. 2017. Disponível em: <<http://perfectusbiomed.com/cbe-meeting-anti-biofilm-technologies/>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

PURCHIO, A.; GAMBALE, W.; PAULA, C.R. Molds from some beaches in the southern area of São Paulo State (Baixada Santista), Brazil. **Rev. Microbiologia**. v.19. p.166-171, 1989.

PURCHIO, A.; GAMBALE, W.; PAULA, C.R.; UGOLINE, C.; REMIE, C.A. - Airborne fungi of Baixada Santista, State of São Paulo, Brazil. **Rev. Microbiologia**, v.15. p.258-265, 1984.

RAVIKUMAR, H. R.; SWETHA, S.; RAO, S.S.; KARIGAR, C.S.B. Biodegradation of paints: a current status. **Indian J. Sci. Tech**, v.5, p.1077-1087, 2012.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos**. Dissertação de mestrado – Escola politécnica da universidade de São Paulo. 215 p. São Paulo, 2004

RIBEIRO, M. C.; STELATO, M. M. **Microbiologia prática: aplicações de aprendizagem de microbiologia básica – bactérias, fungos e vírus**. 2 ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2011.

RIBEIRO, M.M.B.S. **Durabilidade na construção: estimativa da vida útil de fachadas ventiladas**. 2010. 68p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) –Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

RIZZARDO, A.M.R. **Análise da biorreceptividade de estruturas de concreto ao ataque microbiológico (algas)**. 2016. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2016.

SAAD, D.S.; KINSEY, G.; PATERSON, R.; KIM, S. Molecular methods for the analysis of fungal growth on painted surfaces. **Fourth Latin American Biodegradation and Biodeterioration Symposium**. Buenos Aires: 2001.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação das propriedades hidrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. 2006. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

SATO, N.M.N.; SHIRAKAWA, M.A.; UEMOTO, K.L.; JOHN, V.M. Influence of thermal properties of materials in condensation and microorganism growth on building façades. **International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC)**, 11. Istanbul: I.T.U. p. 1405–1412, 2008.

SATO, N.M.N.; UEMOTO, K. L.; SHIRAKAWA, M.A., SAHADE, R.F. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microrganismos em fachada de edifícios: estudo de caso. **ENTAC**. p 1191-1198, 2002.

SCHULTE, S.; WINGENDER, J. FLEMMING, H. Efficacy of biocides against biofilms. In: PAULUS, W. **Directory of Microbicides for the Protection of Materials**. Dordrecht: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2004. cap. 5, p. 93-115.

SHIRAKAWA, M. A.; BEECH, I. B.; TAPPER, R.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, W. The development of a method to evaluate bioreceptivity of indoor mortar plastering to fungal growth. **International biodeterioration & biodegradation**, v.51, n.2, p.83-92, 2003.

SHIRAKAWA, M. A.; JOHN, V. M.; GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, P.; GAMBALE, W. Mould and phototroph growth on masonry façades after repainting. **Materials and Structures**. v.37. p.472-479, 2004.

SHIRAKAWA, M.; GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, P.; JOHN, V. M.; GAMBALE, W. Fungal colonization and succession on newly painted buildings and the effect of biocide. **FEMS Microbiology**, v.39, p.165-173, 2002.

SHIRAKAWA, M.A.; GAYLARDE, C.C.; GAYLARDE, P.; GAMBALE, W.; JOHN, V.M. Fungal Colonization in The Paint Interfaces of a Building Façade. IX International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC): Brisbane, Australia. V. 2., pp. 110, 2002.

SHIRAKAWA, M.A.; TAVARES, R.G.; GAYLARDE, C. C.; TAQUEDA, M. E. S.; JOHN, V.M. Climate as the most important factor determining anti-fungal biocide performance in paint film. **Science of the Total Environment**. V. 408., p. 5878 - 5886, 2010.

SICHERI, E.P.; SALADO G.C., Materiais para Construção VI (Tintas para a Construção Civil). **Apostila Grupo ArqTeMa – Arquitetura, Tecnologia e Materiais**. Universidade de São Paulo. EESC. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos. Brasil. 2007

SILVA, F. H. **Biodeterioração de tintas látex com e sem biocida, expostas ao meio ambiente externo e experimento acelerado**. 2009. 166p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2009.

SINGH, P.; CHAUHAN, M. Influence of Environmental factors on the growth of building deteriorating fungi: *Aspergillus flavus* and *Penicillium chrysogenum*. **IJPSR**. v. 4. p 425-429, 2013.

SOUZA, M.F. **Patologia ocasionada pela umidade nas edificações**. Belo Horizonte. 2008. 54. (Curso de Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, UFMG, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, R. **O conceito de desempenho aplicado às edificações**. São Paulo: EPUSP, 2015.

SPINELLI, F. R. Black Pigments. In: KOLESKE, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 20, p. 204-214.

STERFLINGER, K.; PRILLINGER, H. Molecular taxonomy and biodiversity of rock fungal communities in an urban environment. **Antonie van Leeuwenhoek**. v. 80. p 275-286, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/a:1013060308809>

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

TOMÉ, R.; MARQUES, G. **Serviço de Patologia Clínica do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra**. 2016. Disponível em: <<https://atlasmicologia.blogspot.com>>. Acesso em: 30 fev. 2019.

UNISINOS. **Mapa do Campus**. Disponível em: <<http://www.unisinios.br/institucional/onde-estamos/sao-leopoldo>> Acesso em: 27 ago. 2017.

URZÌ, C.; DE LEO, F. Evaluation of the efficiency of water-repellent and biocide compounds against microbial colonization of mortars. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v.60, p.25-34, 2007.

VIDELA, H. A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. São Paulo: Blucher, 2003.

WANG, M.; LIU, F.; CROUS, P.W.; CAI, L. Phylogenetic reassessment of Nigrospora: ubiquitous endophytes, plant and human pathogens. **Persoonia**. v.39. p.118–142, 2017.

WARD, J. **Mold Busters**. 2018. Disponível em: <<https://www.bustmold.com/>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

WIKTOR, V.; DE LEO, F.; URZÌ, C.; GUYONNET, R.; GROSSEAU, P.H.; GARCIA-DIAZ, E. Accelerated laboratory test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.63, n.8, p.1061-1065, 2009.

WINKELAAR, A. **Coatings basics**. European Coatings Tech Files. Hannover: Vicentz Network, 2009.

WOODWARD, J. H. Bactericides, Fungicides, and Algicides. In: KOLESKE, V. J. **Paint and Coating Testing Manual**. 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 30, p. 313-319.

YANAMAKA, H.T. *et al.* **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Série P+L.** São Paulo: FIESP, 2006.

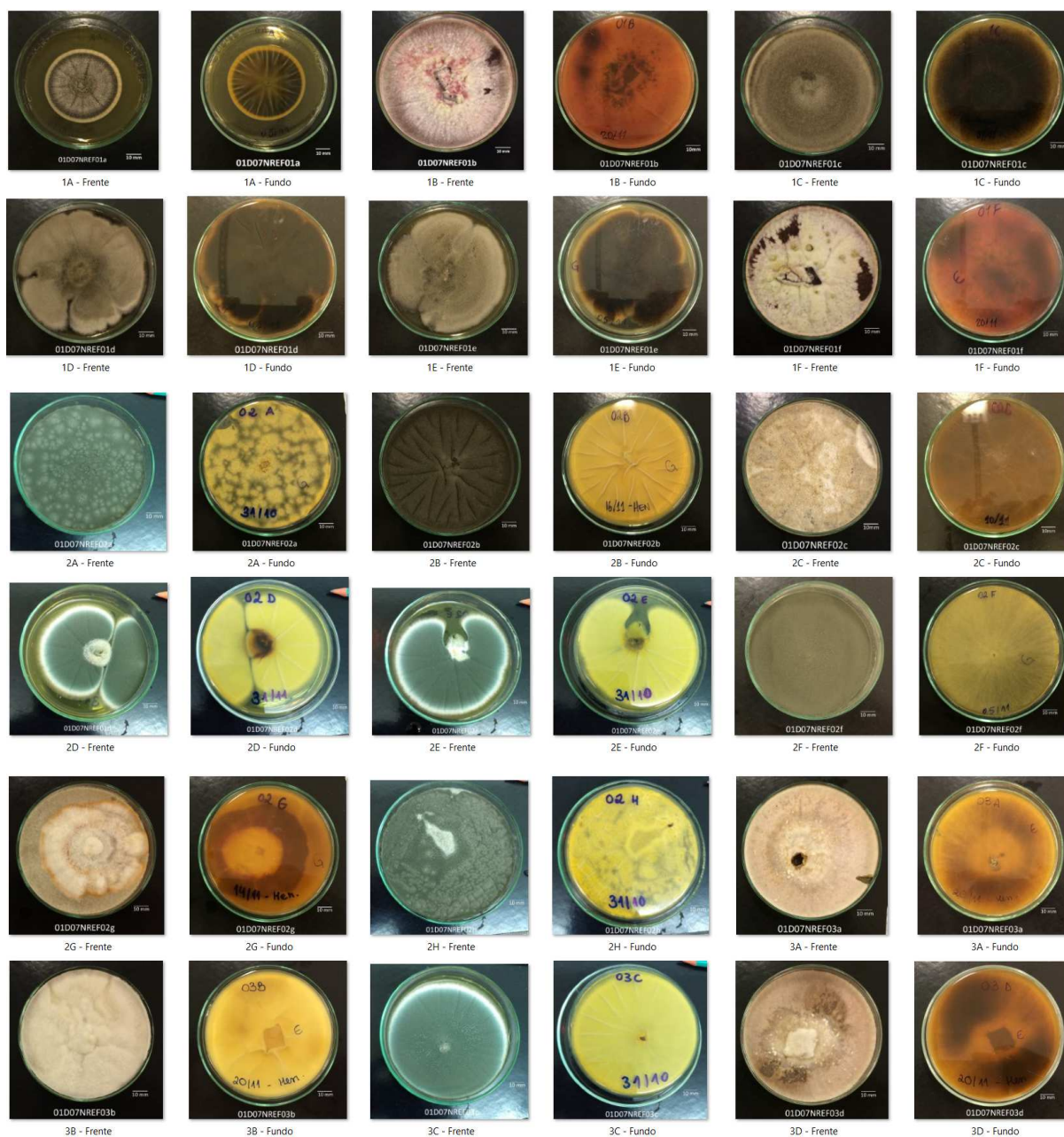
YUHAS, S. A.; MONTEMAYOR, R.G.; Solvents. In: KOLESKE, V. J. **Paint and Coating Testing Manual.** 15 ed. Bridgeport: ASTM, 2012. cap. 18, p. 149-182.

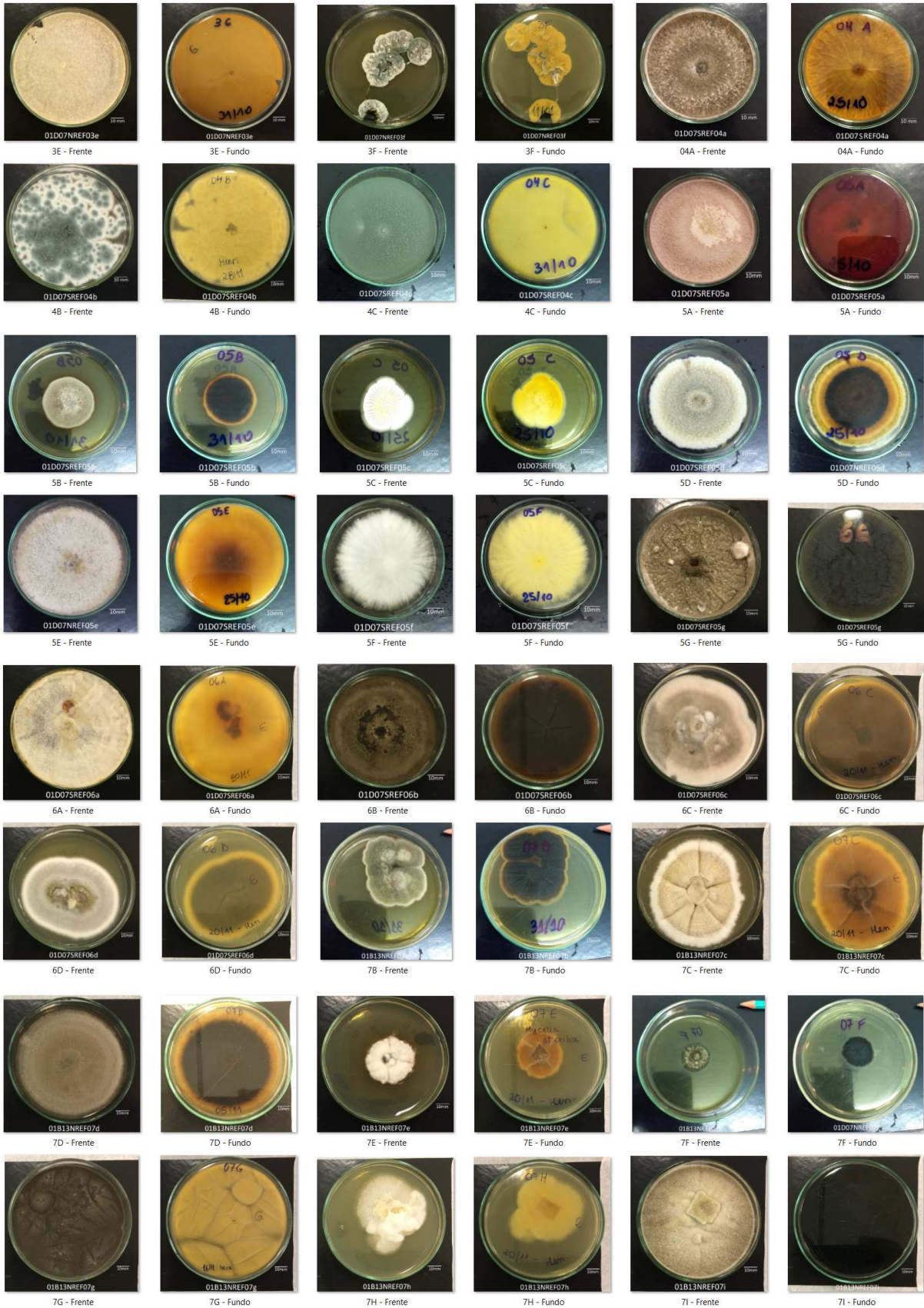
YURI. **Fun with microbiology (what's buggin' you).** 2010. Disponível em: <<http://thunderhouse4-yuri.blogspot.com>>. Acesso em: 30 fev. 2019.



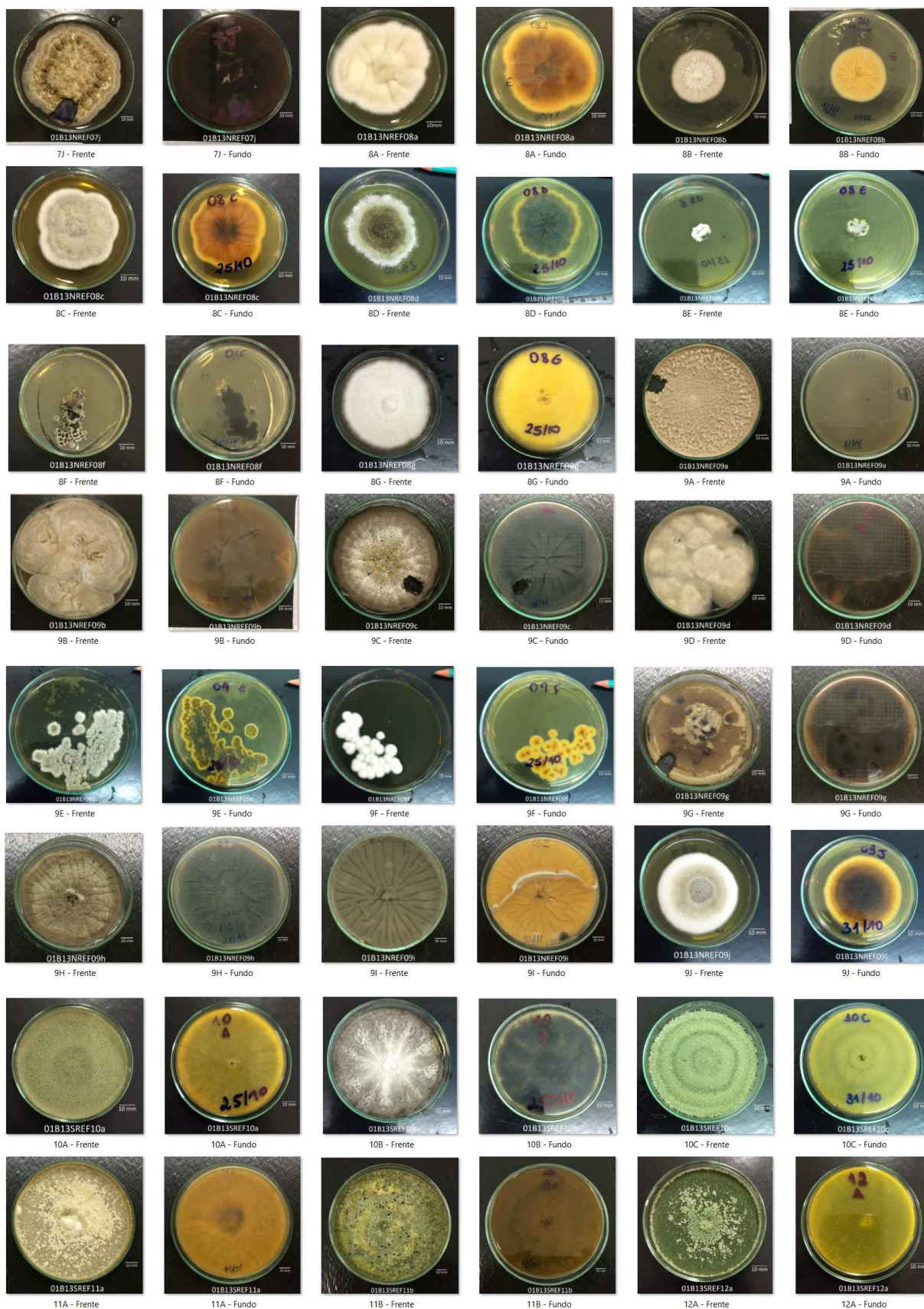
## APENDICE A – COLÔNIAS PURAS

### COLETA 01

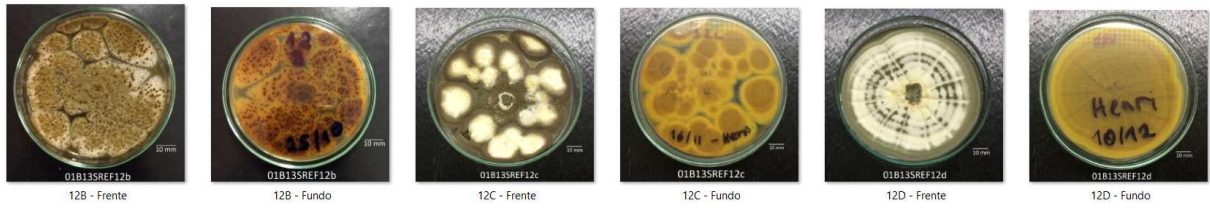




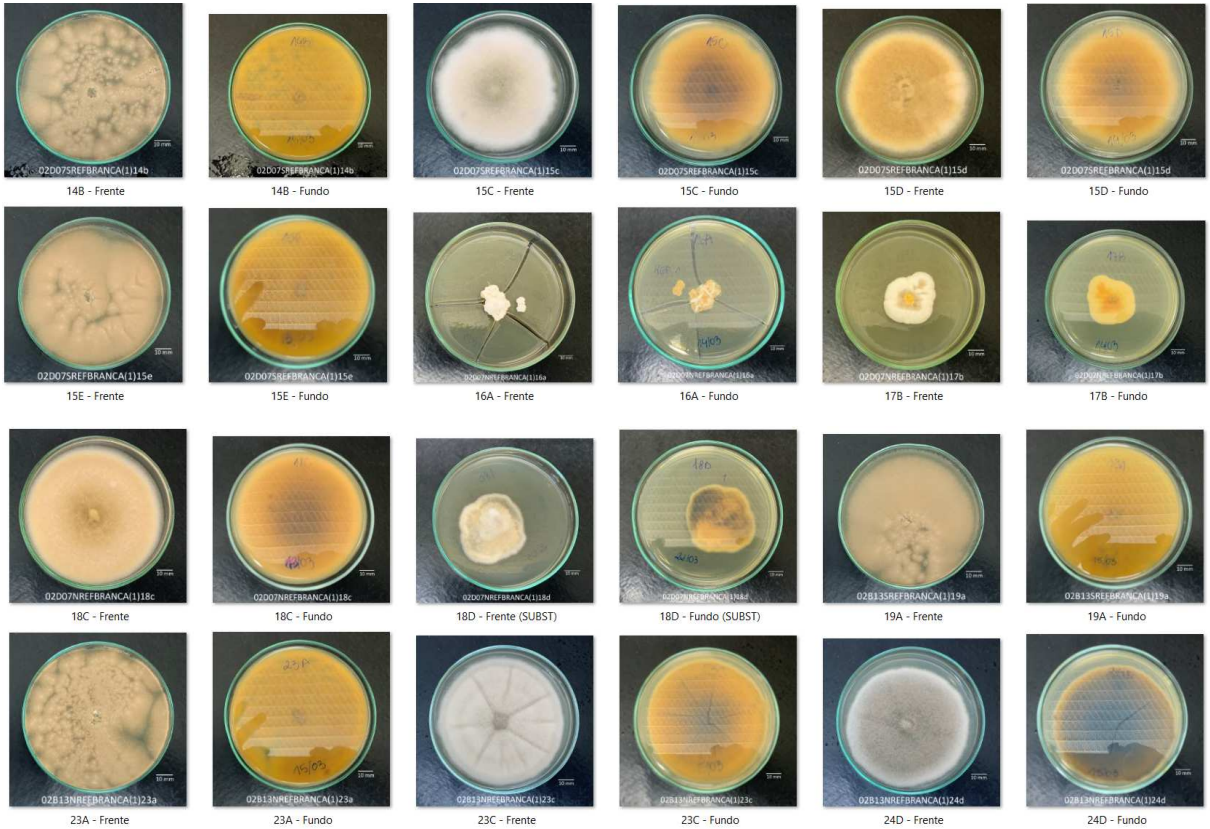




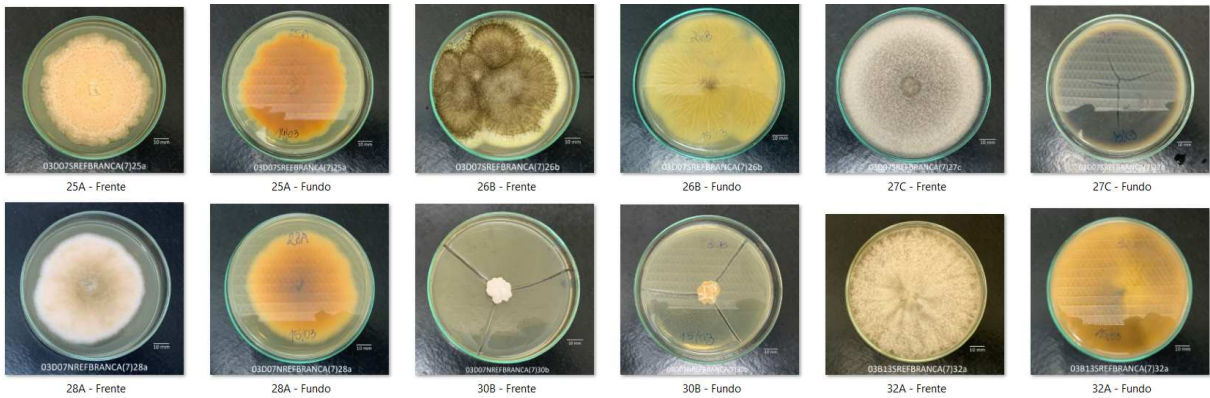




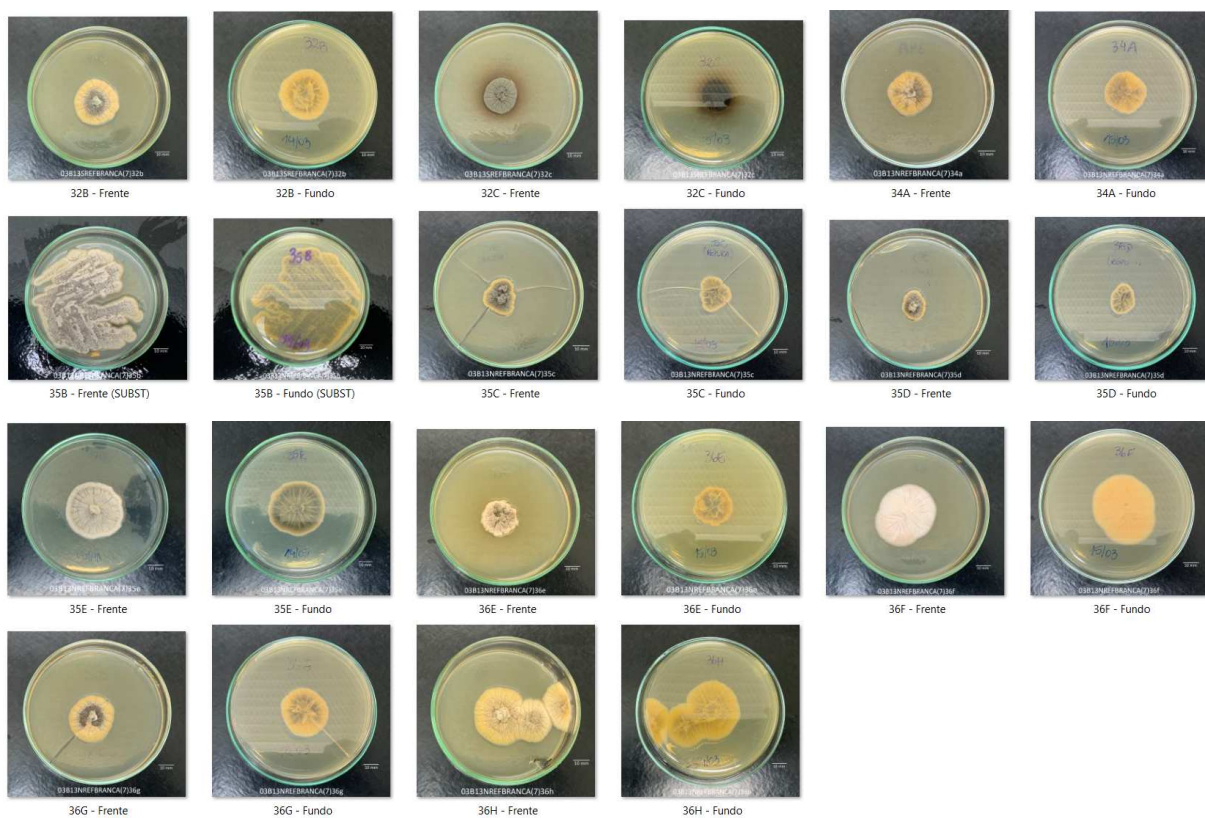
COLETA 02



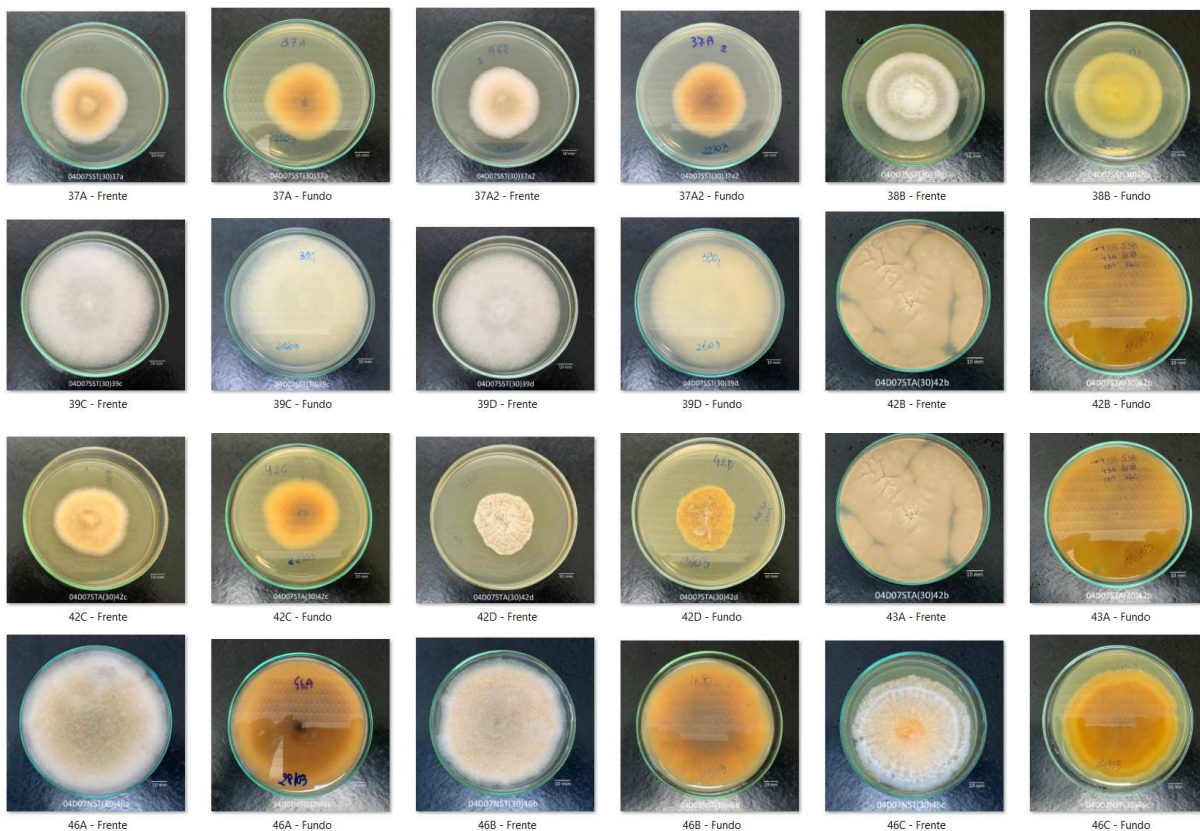
COLETA 03



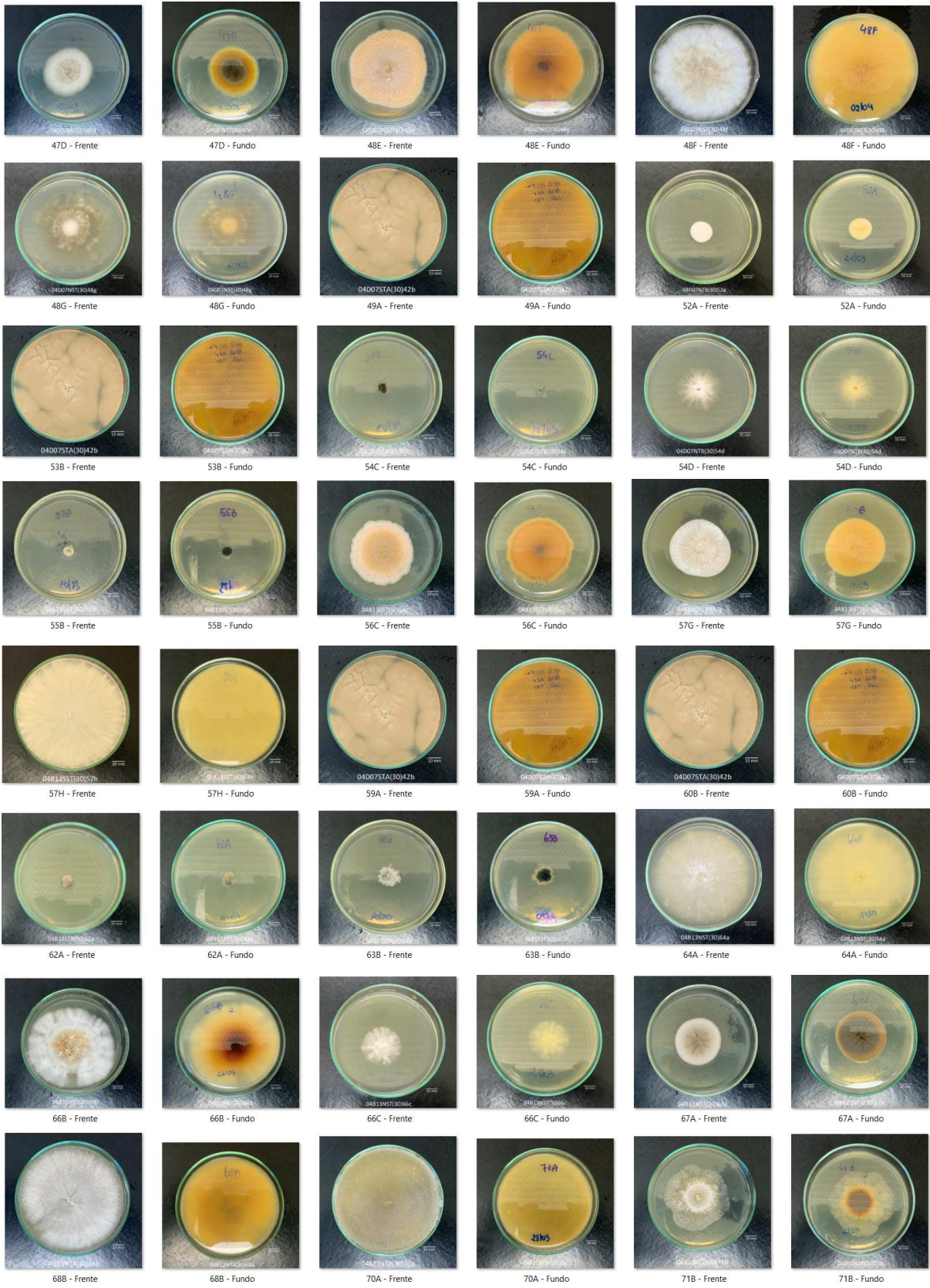


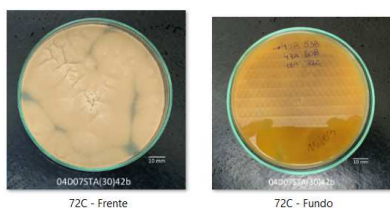


## COLETA 04

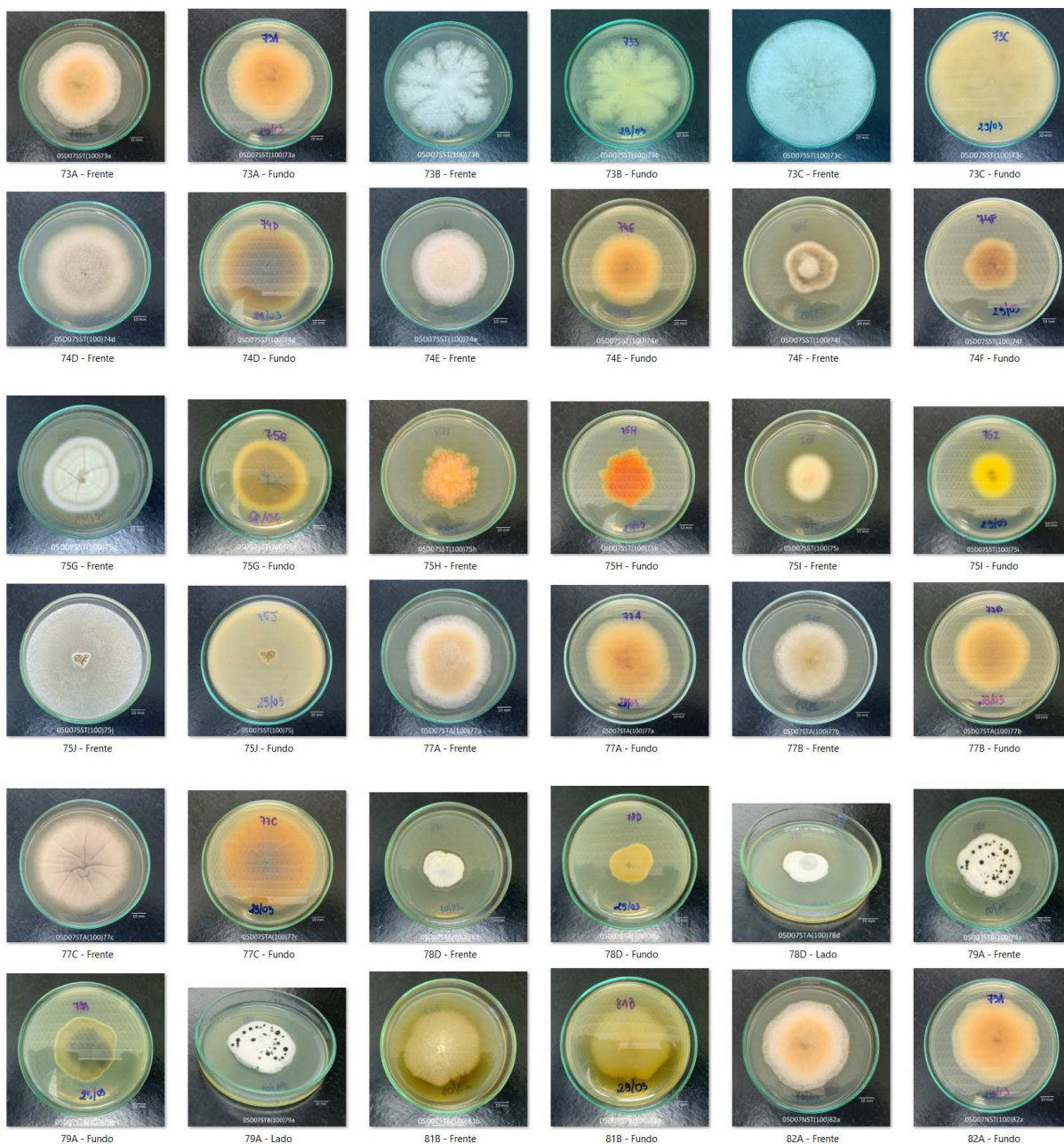




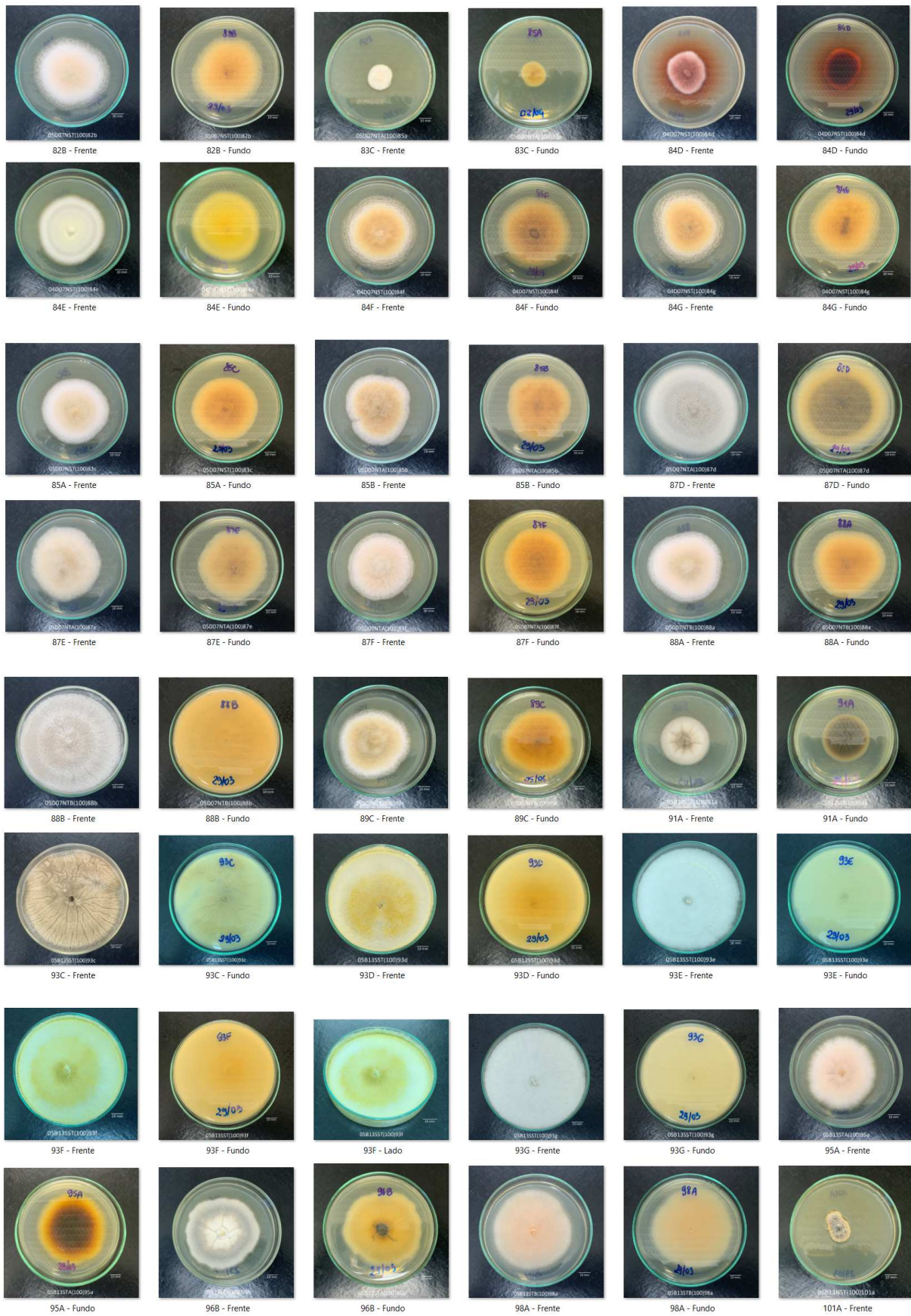




## COLETA 05









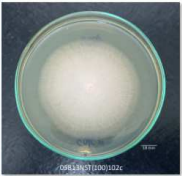
101A - Fundo



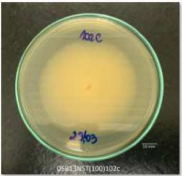
101B - Frente



101B - Fundo



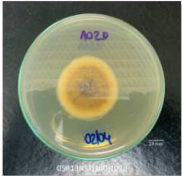
102C - Frente



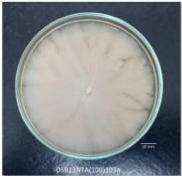
102C - Fundo



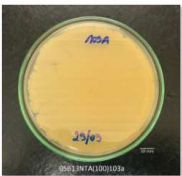
102D - Frente



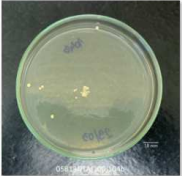
102D - Fundo



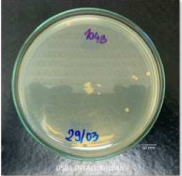
103A - Frente



103A - Fundo



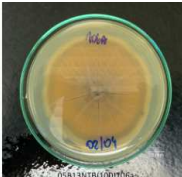
104B - Frente



104B - Fundo



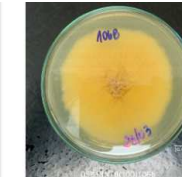
106A - Frente



106A - Fundo



106B - Frente



106B - Fundo