



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Thaysa Viana da Cunha

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE
TRANSMISSÃO DO VÍRUS SARS-CoV-2: ESTUDO DE CASO EM UM
SANITÁRIO DE UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

Rio de Janeiro

2023



UFRJ

Thaysa Viana da Cunha

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE
TRANSMISSÃO DO VÍRUS SARS-CoV-2: ESTUDO DE CASO EM UM
SANITÁRIO DE UM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de
Engenharia Ambiental, Escola
Politécnica & Escola de Química, da
Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Assed Naked Haddad

Co-orientador: Bruno Barzellay F. da
Costa

Rio de Janeiro
2023

Da Cunha, Thaysa Viana

Proposta de Metodologia de Avaliação de Risco de Transmissão do Vírus SARS-CoV-2: Estudo de Caso em um Sanitário de um Hospital Universitário/
Thaysa Viana da Cunha – 2023. XIX, 102p.: il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2023.

Orientador: Assed Naked Haddad

Co-orientador: Bruno Barzellay F. da Costa

1. Análise de Modos de Falha e Efeitos. 2. Análise Ergonômica. 3. Análise de Árvore de Falhas. 4. Processo Hierárquico Analítico. I. Haddad, Assed Naked. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Proposta de Metodologia de Avaliação de Risco de Transmissão do Vírus SARS-CoV-2: Estudo de Caso em um Sanitário de um Hospital Universitário



UFRJ

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE TRANSMISSÃO
DO VÍRUS SARS-CoV-2: ESTUDO DE CASO EM UM SANITÁRIO DE UM
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO

Thaysa Viana da Cunha

Orientador: Assed Naked Haddad

Co-orientador: Bruno Barzelay F. da Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:



Documento assinado digitalmente
ASSED NAKED HADDAD
Data: 04/09/2023 11:56:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente, Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc, UFRJ



Documento assinado digitalmente
BRUNO BARZELLY FERREIRA DA COSTA
Data: 20/06/2023 07:54:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Bruno Barzelay F. Da Costa, D.Sc, UFRJ



Documento assinado digitalmente
MOHAMMAD NAJJAR
Data: 21/06/2023 20:37:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mohammad Naijar, D.Sc, UFRJ

Prof^a. Christine Kowal Chinelli, D.Sc, UFF



Documento assinado digitalmente
ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL
Data: 21/06/2023 14:32:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Ana Carolina Fernandes Maciel, D.Sc, UFU

Rio de Janeiro
2023

*Aos meus pais, Telma e Sérgio, que batalharam muito
para que eu chegasse até aqui, e a Deus, que fez
de mim filha deles.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Assed Naked Haddad, por ter me acolhido tão prontamente como sua orientanda, estando sempre muito disponível, além de ter me proporcionado diversas experiências para expansão do meu conhecimento.

Ao Prof. Bruno Barzellay F. da Costa, pela excepcional co-orientação, especialmente por me nortear em momentos nos quais me sentia perdida. A sua atuação foi fundamental para a conclusão deste trabalho e sou muito grata por isso.

Aos médicos Ronaldo C. O. Vinagre, Simone Soares Leite e René Murilo de Oliveira, que me apoiaram desde o início do mestrado, possibilitando que eu direcionasse esforços para esse objetivo hoje alcançado, além de terem contribuído com seus vastos conhecimentos na área da saúde, o que foi de grande valia para este trabalho.

A minha amiga Márcia Regina de Negreiros Barbeitas, por todo apoio e incentivo ao longo dessa caminhada e por sempre me lembrar que sou capaz.

RESUMO

CUNHA, Thaysa. **Proposta de Metodologia de Avaliação de Risco de Transmissão do Vírus SARS-CoV-2**: Estudo de Caso em um Sanitário de um Hospital Universitário. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Considerando a relevância da COVID-19 na atualidade e o seu impacto nas instalações hospitalares, a oportunidade de aprendizado para as gerações futuras e a importância da temática de gerenciamento de riscos e saúde e segurança ocupacional dentro desse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de metodologia de avaliação de risco de transmissão do vírus SARS-CoV-2 no ambiente de um sanitário, valendo-se de um estudo de caso realizado num hospital universitário. Após revisão da literatura, foi possível concluir que a probabilidade de transmissão está associada a um tripé de riscos que envolve os fatores ambiental, humano e de transmissão. Para destrinchar esses fatores, metodologias de avaliação de risco amplamente conhecidas na literatura foram aplicadas, tais como: Análise de Modos de Falha e Efeitos, Análise Ergonômica – que permitiram a identificação dos indicadores de risco – e Análise de Árvore de Falhas – que permitiu a identificação das rotas de transmissão da COVID-19 em sanitários. Posteriormente, a metodologia Analytic Hierarchy Process foi utilizada para encontrar a ponderação de cada rota de transmissão associada aos indicadores e possibilitar o cálculo do *Risk Score*. A metodologia desenvolvida mostrou-se uma ferramenta aplicável, podendo ser estendida, mediante novos estudos, para a análise de risco em outros ambientes e para novas infecções. A aplicação da referida metodologia permitiu identificar as principais fontes de risco e priorizar a implementação de medidas de controle de disseminação de patógenos em ambientes críticos.

Palavras-chave: Análise de Modos de Falhas e Efeitos, Análise Ergonômica, Análise de Árvore de Falhas, Processo Hierárquico Analítico.

ABSTRACT

ANDRADE, Larissa. **Methodology Proposal for Risk Assessment of the SARS-CoV-2 Virus Transmission**: Case Study in a Restroom at a University Hospital. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Considering the current relevance of COVID-19 and its impact on hospital facilities, the learning opportunity for future generations and the importance of risk management and occupational health and safety within this context, this work presents a methodology proposal to assess the risk of transmission of the SARS-CoV-2 virus in a sanitary environment, using a case study carried out in a university hospital. After the literature review, it was possible to conclude that the transmission probability is associated with a tripod of risks involving environmental, human and transmission factors. To unravel these factors, risk assessment methodologies widely known in the literature were applied, such as: Failure Modes and Effects Analysis, Ergonomic Analysis – which allowed the identification of risk indicators – and Fault Tree Analysis – which allowed the identification of transmission routes of COVID-19 in toilets. Subsequently, the Analytic Hierarchy Process methodology was used to find the weighting of each transmission route associated with the indicators and enable the calculation of the Risk Score. The developed methodology proved to be an applicable tool, which can be extended, through new studies, for risk analysis in other environments and for new infections. The application of the methodology makes it possible to identify the main sources of risk and prioritize the implementation of measures to control the spread of pathogens in critical environments.

Keyword: Failure Modes and Effects Analysis, Ergonomic Analysis, Fault Tree Analysis, Analytical Hierarchical Process.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Metodologia.....	16
1.4	Estrutura da Dissertação.....	16
2	COVID-19	18
2.1	Rotas de Transmissão.....	20
2.1.1	Transmissão por Gotículas	21
2.1.2	Transmissão Aérea.....	21
2.1.3	Transmissão por Contato.....	22
2.2	O Problema dos Sanitários e Banheiros.....	24
2.2.1	Disseminação de Patógenos em Vasos Sanitários.....	26
2.2.2	Disseminação de Patógenos em Lavatórios	28
2.2.3	Medidas Preventivas em Sanitários e Banheiros.....	30
3	FATORES AMBIENTAIS DETERMINANTES NA AVALIAÇÃO DE RISCOS 32	
3.1	Temperatura e Umidade do Ar.....	32
3.2	Luz Solar	36
3.3	Ventilação	36
3.4	Tipo de Superfície	38
3.4.1	Efeito da Temperatura e da Umidade em Superfícies	40
4	METODOLOGIA	41
4.1	Tripé de Riscos	41
4.1.1	<i>Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)</i>	42
4.1.1.1	Aplicação da FMEA	48
4.1.2	<i>Ergonomic Workplace Analysis (EWA)</i>	50
4.1.2.1	Aplicação da EWA.....	53
4.1.2.1.1	Avaliação do Ambiente.....	53
4.1.2.1.2	Avaliação do Processo	54
4.1.2.1.3	Avaliação das Pessoas	57
4.1.3	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	58
4.1.3.1	Aplicação da FTA	61
4.1.4	Método <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> para Priorização das Rotas de Transmissão	64
4.1.5	Aplicação do Tripé de Riscos.....	67

4.1.5.1	Aplicação da AHP para a Ponderação das Rotas de Transmissão da COVID-19 em Sanitários	69
5	ESTUDO DE CASO.....	74
5.1	Análise dos Indicadores em um Hospital Universitário.....	74
5.1.1	Indicadores Ambientais.....	75
5.1.2	Indicadores Humanos	79
5.2	Cálculo do <i>Risk Score</i> Global do Sanitário para a COVID-19.....	80
5.2.1	Simulação da Adoção de Medidas Corretivas e cálculo do novo <i>Risk Score</i> Global.....	81
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	84
7	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS.....	89
	APÊNDICE – FMEA elaborada para o fator ambiental do tripé de riscos	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões de temperatura e umidade para áreas hospitalares.....	33
Quadro 2 – Severidade de um modo de falha.....	45
Quadro 3 – Estimativa da probabilidade de ocorrência.....	46
Quadro 4 – Probabilidades de detecção de uma falha ou causa.....	46
Quadro 5 – Representações gráficas da FTA.....	59
Quadro 6 – Escala fundamental de julgamentos.....	65
Quadro 7 – Índice de consistência para uma matriz recíproca.....	66
Quadro 8 - Indicadores, classificação de risco e rotas de transmissão associadas	67
Quadro 8 – Matriz preenchida com os julgamentos.....	71
Quadro 9 – Matriz normalizada.....	72
Quadro 10 – Matriz normalizada multiplicada pelo índice de priorização.....	72
Quadro 11 – Índices de priorização para cada rota de transmissão da COVID-19	73
Quadro 13 - Classificação de risco dos indicadores ambientais para o sanitário estudado.....	77
Quadro 14 - Classificação de risco dos indicadores humanos para o sanitário estudado.....	80
Quadro 15 – Cálculo do <i>Risk Score</i> global.....	81
Quadro 16 - Nova classificação de riscos com base na simulação da adoção de medidas.....	81
Quadro 17 - Cálculo do novo <i>Risk Score</i> Global após simulação.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rota de transmissão do SARS-CoV-2 em um edifício	28
Figura 2 - Tripé de riscos	41
Figura 3 - Representação esquemática da metodologia FMEA	44
Figura 4 - Mapeamento do processo desempenhado por um usuário de um sanitário.....	54
Figura 5 – Exemplificação de uma FTA simples	60
Figura 6 – FTA da COVID-19.....	61
Figura 7 – FTA para a rota de transmissão por gotículas	62
Figura 8 – FTA para a rota de transmissão aérea.....	63
Figura 9 – FTA para a rota de transmissão por contato	64
Figura 10 - Croqui de um sanitário localizado em um hospital universitário.....	74
Figura 11 - Ambiente sem janela com exaustor inoperante	75
Figura 12 – Lavatório	76
Figura 13 – Componentes do banheiro	76
Figura 14 – Outros detalhes do sanitário	77

1 INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, na cidade de Wuhan, na China, ocorreu a transmissão humana de um novo coronavírus, o SARS-CoV-2. Poucos meses depois, em março de 2020, a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarava a pandemia de COVID-19 devido a rápida disseminação geográfica mundial que o novo coronavírus apresentou. O Brasil apresentou o primeiro caso da doença, confirmado pelo Ministério da Saúde, no final de fevereiro de 2020. A partir de então, o vírus se espalhou por todo o País, pressionando o sistema de saúde e causando a morte de centenas de milhares de pessoas. Diante desse cenário, houve uma grande mobilização da comunidade científica e diversos imunizantes foram desenvolvidos, possibilitando uma ampla campanha de vacinação ao redor do mundo. Em virtude do sucesso da vacinação, o diretor da OMS afirmou, em setembro de 2022, que a pandemia finalmente estaria perto do fim. Todavia, em novembro do mesmo ano, em meio à circulação de uma nova subvariante, houve um aumento do número de casos da doença em vários países, o que deixou o mundo novamente em estado de alerta. Dessa forma, apesar do fim da pandemia parecer estar cada vez mais próximo, a tendência é que novas variantes continuem surgindo – assim como ocorreu com o vírus Influenza – e que o vírus continue circulando, apesar da menor letalidade em virtude da eficácia da campanha de vacinação.

É importante lembrar que o coronavírus não foi o primeiro causador de uma pandemia – termo que, segundo a OMS, passa a ser usado quando uma epidemia, ou seja, um surto que afeta uma região, se propaga por diferentes continentes com transmissão sustentada de pessoa para pessoa. Exemplos de pandemias que marcaram a história foram a Peste Negra e a Gripe Espanhola, a primeira causada por uma bactéria no século XIV e a segunda causada por uma variante do famoso vírus influenza, em 1918. O Influenza também está relacionado com a Gripe A, que surgiu em suínos no México no ano de 2009 – motivo pelo qual a doença também é chamada de gripe suína – e se espalhou rapidamente pelo mundo.

Dessa forma, pode-se concluir que o surgimento de novos patógenos causadores de epidemias e pandemias é, de certa forma, recorrente na humanidade. Isso pode estar relacionado à degradação do meio ambiente, mudanças climáticas, produção agropecuária intensiva, caça ilegal, dentre outros fatores. Especialistas sugerem que o mundo esteja mais preparado para enfrentar uma nova pandemia no futuro a fim de aumentar a resiliência e reduzir os efeitos de uma nova e alarmante crise de saúde. Para alcançar esse objetivo será necessária uma abordagem integrada e multidisciplinar. Esforços deverão ser direcionados para a construção de uma arquitetura de saúde global mais robusta voltada para a prevenção e mitigação, por meio de uma ação política de alto nível.

Nesse contexto, as unidades hospitalares merecem grande atenção, tendo em vista a pressão exercida sobre essas durante eventos de pandemia, como ocorreu no caso da COVID-19. Na tentativa de conter o avanço da doença nessas unidades, inúmeros protocolos internos foram criados, dentre os quais se pode citar: uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), higienização mais frequente dos ambientes, barreiras físicas, controle do fluxo de pessoas, sinalização, mapeamento de casos, protocolos de quarentena e retorno ao trabalho, e controle de visitantes. Todavia, a adoção dessas medidas não foi capaz de impedir o colapso do sistema de saúde de inúmeros países, incluindo o Brasil. Dessa forma, o coronavírus revelou as lacunas e problemas críticos no gerenciamento dos sistemas de saúde.

1.1 Justificativa

A escolha do tema advém do atual cenário de pandemia de COVID-19 e do impacto dessa na segurança ambiental das instalações hospitalares que, durante o enfrentamento da pandemia em sua pior fase, sofreram com a alta ocupação dos leitos e com o esgotamento dos recursos materiais e humanos. Dessa forma, para que a unidade hospitalar seja capaz de lidar com uma pandemia de forma eficaz, sem comprometer as demais áreas de atendimento essenciais à população, e para que a manutenção dessas atividades seja segura para os pacientes, equipes e comunidades do entorno, é de suma importância a implementação de novos protocolos, medidas de proteção e adequação das

instalações, sendo esse um importante legado deixado pela pandemia da COVID-19.

Neste ponto, ressalta-se que, em virtude da complexidade do ambiente hospitalar, foi necessária a delimitação da área de estudo do presente trabalho. Assim, o ambiente de um sanitário localizado no interior de uma unidade hospitalar foi selecionado para desenvolvimento do estudo de caso, tendo em vista seu aspecto insalubre e oportunista para a disseminação de patógenos, e por ser um espaço interno restrito e, no geral, mal ventilado, com alta circulação de pessoas.

É importante ressaltar que o presente trabalho de dissertação servirá ao futuro, tendo em vista que, no cenário atual, onde o homem tem interferência crescente sobre o meio ambiente, o surgimento de novos patógenos e consequentes epidemias e pandemias são eminentes. Isto posto, as instalações hospitalares, que prestam serviços essenciais de assistência à saúde e não podem ter suas atividades interrompidas, precisam estar preparadas para esse tipo de evento. Sendo assim, para superar essas lacunas, o presente trabalho apresenta uma metodologia fundamentada em técnicas amplamente conhecidas de análise de risco, oferecendo uma ferramenta prática e eficaz para identificação do nível de risco e priorização de ações a serem tomadas.

1.2 **Objetivos**

A presente dissertação tem por objetivo principal propor um método prático e objetivo de avaliação de riscos de disseminação de patógenos, no caso o SARS-CoV-2 – em um sanitário localizado no interior de uma unidade hospitalar. Para tanto, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- 1 Mapear os aspectos ambientais inerentes aos sanitários que possuem influência na disseminação do vírus SARS-CoV-2;
- 2 Mapear os processos desempenhados por usuários de um sanitário, identificando comportamentos típicos;
- 3 Identificar os fatores de risco determinantes relacionados à transmissão do vírus SARS-CoV-2 em sanitários;

- 4 Mapear as rotas de transmissão relacionadas à disseminação do vírus SARS-CoV-2 em sanitários e estabelecer a importância dessas;
- 5 Aplicar a metodologia desenvolvida em um estudo de caso em um sanitário de um hospital universitário.

1.3 Metodologia

Diante dos objetivos propostos na subseção 1.3, os procedimentos adotados para realização desta pesquisa consistiram em:

- **Pesquisa Bibliográfica:** Realizada por meio da consulta a artigos nas bases *Science Direct*, *Scopus*, *Wiley*, *Springer Link* e Periódicos Capes. O levantamento bibliográfico teve como finalidade identificar quais são as rotas de transmissão reconhecidas pela literatura e os principais fatores ambientais e humanos relacionados à disseminação do SARS-CoV-2 em sanitários.
- **Desenvolvimento:** No desenvolvimento deste trabalho foram aplicadas três técnicas amplamente difundidas na área de segurança ambiental. São elas: Análise de Modos de Falha e Efeitos, para identificação dos fatores ambientais, Análise Ergonômica do Trabalho, para identificação dos fatores humanos, e Análise de Árvore de Falhas, para identificação das rotas de transmissão do SARS-CoV-2. Posteriormente, a metodologia de Análise Hierárquica de Processos foi aplicada para obtenção das ponderações das rotas de transmissão, possibilitando a aplicação em fórmula para obtenção do *Risk Score*.
- **Estudo de Caso:** Uma inspeção em um sanitário individual localizado em um hospital universitário foi realizada com a finalidade de obter dados relativos aos fatores ambientais para a aplicação da metodologia proposta.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em nove capítulos, referências bibliográficas e um apêndice.

No capítulo 1 é apresentada uma visão geral do assunto a ser abordado, contextualizando o tema, justificando a escolha e relevância desse, definindo os objetivos do estudo e a metodologia utilizada, além dos seus limites de abordagem.

Nos capítulos 2 e 3 apresenta-se a revisão de literatura, incluindo aspectos relacionados a COVID-19 e suas rotas de transmissão, abordando o problema dos sanitários e banheiros no que diz respeito à disseminação de patógenos e descrevendo os fatores ambientais que exercem influência na transmissão do coronavírus.

No capítulo 4 a metodologia do presente trabalho é apresentada, incluindo a descrição de todas as técnicas escolhidas para o alcance dos objetivos traçados.

No capítulo 5 é apresentado o Estudo de Caso, sua delimitação, e os resultados obtidos com a aplicação da metodologia desenvolvida.

No capítulo 6 são discutidos os resultados do referido Estudo de Caso.

No capítulo 7 são apresentadas as considerações finais do trabalho de pesquisa, incluindo sua relevância e aplicabilidade, limitações identificadas, além de recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Finalmente, no apêndice é exposto o resultado da aplicação de uma técnica de análise de risco abordada na metodologia que, por motivo de tamanho, não foi colocado no corpo do texto.

2 COVID-19

A exposição ao SARS-CoV-2, vírus que causa a COVID-19, ocorre de três maneiras principais (CDC, 2021a):

- Inalação de gotículas respiratórias muito finas e partículas de aerossol;
- Deposição de gotículas respiratórias e partículas nas membranas mucosas por respingos diretos e sprays;
- Quando as mãos, após entrarem em contato com uma superfície contaminada por fluidos respiratórios que contém o vírus, tocam as membranas mucosas.

A transmissão respiratória direta de pessoa para pessoa parece ser o principal meio de transmissão do SARS-CoV-2 (MEYEROWITZ et al., 2021). Acredita-se que essa rota se dê por meio da exposição às partículas respiratórias em virtude do contato a curta distância – ou seja, dentro de aproximadamente dois metros. Essa exposição pode ocorrer por inalação ou contato com as membranas mucosas (McINTOSH, 2022).

A quantidade de vírus a que uma pessoa é exposta é outro fator relevante para a ocorrência de infecção e é determinada por dois processos principais (CDC, 2021a):

- a A redução da concentração de vírus no ar à medida que as gotículas respiratórias mais pesadas sofrem a ação da gravidade e se depositam no solo, e que as gotículas mais finas e partículas de aerossol que permanecem na corrente de ar progressivamente são diluídas. Esta mistura não é necessariamente uniforme e pode ser influenciada pela estratificação térmica e pelo jato inicial de exalações.
- b Perda progressiva de viabilidade viral e infectividade ao longo do tempo influenciada por fatores ambientais, tais como temperatura, umidade e radiação ultravioleta.

O SARS-CoV-2 também pode ser transmitido pela inalação de partículas que permanecem no ar por um longo período de tempo e alcançam distâncias

maiores – a chamada transmissão aérea. Embora as infecções por inalação a distâncias superiores a 1,8 metros de uma fonte infecciosa sejam menos prováveis do que a distâncias menores, o fenômeno foi documentado repetidamente em certas circunstâncias evitáveis. Tais eventos de transmissão envolveram a presença de uma pessoa infecciosa exalando vírus dentro de casa por um período prolongado – mais de 15 minutos e, em alguns casos, horas – levando a concentrações de vírus no espaço aéreo suficientes para transmitir infecções a pessoas situadas a mais de 1,8 metros de distância. De acordo com relatórios publicados, os fatores que aumentam o risco de infecção por SARS-CoV-2 sob essas circunstâncias incluem espaços fechados com sistema de ventilação e/ou tratamento de ar inadequados, situações nas quais o indivíduo infeccioso está envolvido em esforço físico ou de fala e há exposição prolongada a essas condições, normalmente por mais de 15 minutos (CDC, 2021a). Todavia, a extensão em que esse modo de transmissão contribuiu para a pandemia é incerta. Apesar da existência de inúmeros estudos apontarem o potencial de transmissão aérea do SARS-CoV-2 em espaços fechados e mal ventilados, as taxas gerais de transmissão da doença sugerem que a via aérea de longo alcance não é um modo primário (CHAGLA et al., 2021).

Com relação ao risco de transmissão em ambientes externos, o mesmo parece ser substancialmente menor do que em ambientes internos, embora os dados sejam limitados (BULFONE et al., 2021). No entanto, ainda que ao ar livre, o contato próximo com um indivíduo infectado continua sendo um risco. Por sua vez, com relação ao risco de transmissão pelo contato indireto – por exemplo, pelo manuseio de itens contaminados ou contato eventual com um indivíduo contaminado – não está bem estabelecido, e provavelmente é muito baixo (McINTOSH, 2022).

O SARS-CoV-2 foi também detectado em amostras não respiratórias, incluindo fezes, sangue, secreções oculares e sêmen, mas o papel desses locais na transmissão é incerto (McINTOSH, 2022). Apesar dos inúmeros estudos na literatura apontarem potencial transmissão fecal-oral do vírus, a transmissão por essa via não parece ser um fator significativo na propagação da infecção (WHO, 2020b).

Finalmente, com relação à probabilidade de transmissão sanguínea do vírus, a mesma parece ser baixa, tendo em vista que os vírus respiratórios geralmente não são transmitidos por essa via. Também não há evidências de que o SARS-CoV-2 possa ser transmitido através do contato com não mucosas como, por exemplo, a pele ferida (McINTOSH, 2022).

2.1 ROTAS DE TRANSMISSÃO

Os indivíduos liberam fluidos respiratórios ao expirarem durante o ato simples de respirar, falar, cantar, exercitar-se, tossir e espirrar. Esses fluidos são liberados na forma de gotículas em um espectro de tamanhos (CDC, 2021a). O tamanho dessas partículas depende das características do fluido, da força e pressão no momento da emissão, e das condições ambientais tais como temperatura, umidade relativa e ventilação (FERIOLI et al., 2020). O tamanho de uma gota, por sua vez, impacta significativamente na sua dispersão, deposição e capacidade de transportar patógenos (MORAWSKA, 2006).

As partículas respiratórias podem ser classificadas como gotículas ou aerossóis com base em seu tamanho – mais especificamente em termos de diâmetro aerodinâmico (HINDS, 1999 apud JAYAWEERA, 2020). Todavia, segundo Fan et al. (2022), não há um valor limite universalmente acordado para a classificação.

Tellier (2009) postulou três modos nos quais o vírus da gripe pode ser transmitido: transmissão por aerossol, transmissão por gotículas e auto-inoculação da mucosa nasal por mãos. Outra classificação é apresentada por Judson e Munster (2019): "transmissão aérea", que se refere à doença disseminada por aerossóis de gotículas e núcleos de gotículas, enquanto o termo "transmissão por gotículas" descreve a infecção por grandes aerossóis de gotículas. O termo "transmissão aerotransportada" definido por Morawska (2006) é bastante semelhante ao termo "transmissão aérea" formulado por Judson e Munster (2019). CDC (2022c) define 5 µm como sendo o limite para esse tipo de transmissão.

É importante ressaltar que, segundo Tellier (2009), gotículas menores que 10 μm podem penetrar profundamente na parte inferior do trato respiratório e região alveolar. Ainda segundo o autor, gotas com diâmetros entre 10 e 20 μm são consideradas “partículas intermediárias” e carregam uma pequena carga viral. Gotículas grandes, por sua vez, a que se refere essa sessão, são mais propensas a pousar na membrana mucosa nas vias aéreas superiores (HATCH, 1961 apud FAN et al., 2022).

Duguid et al. (2009) constataram que o diâmetro das gotículas expelidas situa-se em uma ampla faixa de 1 μm - 2000 μm com 95% delas menores que 100 μm . Xie et al. (2009), por sua vez, estimaram que o tamanho médio das gotículas emitidas ao falar encontra-se no intervalo de 50–100 μm , ou seja, são gotículas grandes.

2.1.1 Transmissão por Gotículas

As partículas maiores – aquelas com diâmetro maior que 5 μm – são então chamadas de gotículas e se depositam rapidamente, em segundos a minutos (CDC, 2021a). Essas gotículas possuem um curto alcance, podendo transportar vírus viável em distâncias de até 1 metro. Vírus respiratórios como adenovírus, vírus sincicial respiratório, influenza e SARS-CoV podem ser transmitidos através deste modo (NIAZI et al., 2021).

A transmissão de gotículas ocorre pela pulverização direta de grandes gotículas nos olhos ou membranas mucosas de um hospedeiro suscetível quando um paciente infectado espirra, fala ou tosse (JAYAWEERA, 2020).

2.1.2 Transmissão Aérea

Como visto anteriormente, os fluidos respiratórios são emitidos durante a expiração em um espectro de tamanhos. As partículas menores secam rapidamente, formando aerossóis. Esses aerossóis, por serem pequenos, podem permanecer suspensos no ar por minutos a horas (CDC, 2021a). Verificou-se que o vírus SARS-CoV-2, por exemplo, permanece viável em aerossóis por 3 horas (DOREMALEN et al., 2020).

Ao passo que as gotículas de maior tamanho ficam retidas nas vias aéreas superiores, pequenos aerossóis – partículas com diâmetro menor que 5mm (CDC, 2021a) – são mais suscetíveis a serem inalados profundamente no pulmão, causando infecção nos tecidos alveolares do trato respiratório (THOMAS, 2013).

Embora a transmissão direta entre indivíduos seja a principal fonte de aerossóis e gotículas, outros cenários como procedimentos, cirurgias, torneiras e descargas de vasos sanitários também geram aerossóis contaminados com patógenos infecciosos. Os tipos mais comuns de vírus que causam infecções no trato respiratório através de aerossol transmissão são vírus influenza, rinovírus, coronavírus, vírus sinciciais respiratórios (RSVs) e vírus parainfluenza (MORAWSKA, 2006).

2.1.3 Transmissão por Contato

O contato indireto com secreções infecciosas em superfícies pode causar a transmissão por contato (TELLIER, 2006). Um dos mecanismos predominantes para que o vírus da COVID-19 seja contagioso, por exemplo, é a auto-inoculação a partir do contato com fômites contaminados. A auto-inoculação pode ocorrer por má higiene das mãos (KWOK et al., 2015) ou por não seguir o padrão de etiqueta respiratória para controle da propagação de doenças (JAYAWEERA, 2020).

Stephens et al. (2019) também concluíram em seu estudo que, embora haja grande variabilidade entre os estudos existentes sobre a inativação do vírus influenza e sua sobrevivência em superfícies ao longo do tempo – influenciado, segundo os autores, por uma combinação do tipo de material, condições ambientais, cepa do vírus, métodos de inoculação e métodos de detecção de presença/abundância/viabilidade viral –, a literatura de uma forma geral afirma que os vírus da gripe podem sobreviver por vários dias após deposição em alguns tipos de superfícies e em condições específicas. Ademais, Gerhardt et al. (2012) afirmam em seu estudo que a persistência de patógenos em superfícies inanimadas, tanto em locais públicos quanto domésticos, depende muito do tipo de microrganismo; por exemplo, algumas bactérias morrem em

poucos minutos durante a secagem, enquanto outros tipos formadores de esporos podem sobreviver por muito mais tempo.

Segundo Carducci et al. (2011), vírus “transportados pelo ar”, como o vírus da gripe, adenovírus, rinovírus, coronavírus, sarampo, rubéola e vírus da caxumba são facilmente transmitidos por gotículas que podem entrar em contato diretamente ou serem depositadas em superfícies. Além disso, agentes transmitidos pela via fecal-oral, como rotavírus, adenovírus humanos e norovírus, são frequentemente associados com infecções em ambientes de saúde disseminadas pelo ar, mãos e contaminação da superfície.

Vírus transmitidos pela via sanguínea – tais como o vírus da imunodeficiência humana, hepatite B e hepatite C – são os mais estudados no que diz respeito à disseminação em ambientes de saúde e, embora os estudos epidemiológicos indiquem os acidentes como a principal causa de exposição, há uma hipótese teórica, embora ainda não comprovada, de transmissão viral via gotículas e superfícies (DAVANZO et al., 2008).

No estudo de Carducci et al. (2011), que teve como objetivo avaliar a contaminação viral aérea e em superfícies nos ambientes hospitalares usando testes biomoleculares, o monitoramento revelou a presença de vírus em 29 das 176 amostras de campo. O estudo concluiu que o DNA viral estava disseminado tanto em superfícies desinfetadas, como no ar filtrado. Todavia, os autores ressaltaram que a simples detecção do vírus no ambiente não indica infectividade. Portanto, para que a via de transmissão seja eficaz e a contaminação indireta de fato ocorra, se faz necessária a transferência do patógeno para as mãos, e das mãos para as mucosas.

Tuladhar et al. (2013) mediram a transferência de norovírus humano (NoV) entre superfícies e dedos. A eficiência de transferência inicial foi em média de 13%, diminuindo ao longo do tempo e após a secagem das pontas dos dedos contaminados. A eficiência de transferência entre superfície e ponta dos dedos para uma solução viral infecciosa e viável foi entre 2 e 4%, em média, mesmo após 40 minutos da secagem das superfícies contaminadas.

Greene et al. (2015) estimaram a eficiência de transferência de *Acinetobacter baumannii* com e sem uso de luvas de látex, do dedo para uma superfície e de uma superfície para o dedo. Sem luvas, a eficiência de transferência da superfície para o dedo foi de aproximadamente 24%, e do dedo para a superfície, de aproximadamente 6%. O uso da luva de látex reduziu ambas eficiências de transferência pela metade, e o tipo de material não foi um fator determinante.

2.2 O PROBLEMA DOS SANITÁRIOS E BANHEIROS

Em relação especificamente aos sanitários e banheiros, o estudo de Curtis et al. (2000) relatou a presença de contaminação fecal em maçanetas e torneiras de banheiros. Vírus foram encontrados em 50% das maçanetas e em 19% das torneiras. Bactérias foram detectadas em 14% das maçanetas e 9% das torneiras. Em um banheiro público, espera-se que a contaminação seja ainda maior. Além disso, estudos anteriores mostraram que bactérias e vírus aerossolizados da descarga do vaso sanitário podem permanecer no ar por tempo suficiente para se estabelecer em superfícies em todo o banheiro (GERHARDTS et al., 2012).

Stephens et al., (2019) destacam ainda que esses ambientes são favoráveis à formação de biofilmes microbianos em virtude dos seus altos níveis de umidade. Dessa forma, esses microorganismos podem formar comunidades, assemelhando-se muito aos achados em sistemas de encanamento e reservatórios de água. Gerhardtts et al. (2012) destacam que a transmissão de micro-organismos é altamente dependente do grau de umidade das mãos e das superfícies receptoras, sendo a transferência de bactérias sempre significativamente maior entre as mãos e objetos umedecidos do que entre as mãos secas.

Muitos patógenos entéricos são encontrados em altos níveis nas fezes e, portanto, nos banheiros após a defecação, particularmente durante episódios de diarreia aguda. Alguns patógenos entéricos, como os norovírus, também são encontrados em altas concentrações no vômito. Pessoas infectadas com vírus entéricos podem liberar 10¹⁰–10¹² vírus por grama de fezes (ABNEY et al, 2021).

Bactérias e vírus também podem estar presentes na urina durante a infecção. Vírus infecciosos como os que causam encefalite, varíola, adenovírus e o SARS-CoV-2 foram detectados na urina. Quantidades significativas de patógenos podem ser liberadas na urina considerando que as pessoas excretam de 700 a 2.000 ml de urina por dia (ABNEY et al., 2021).

Durante a diarreia aguda, muitas vezes ocorrem respingos que podem contaminar os lados do vaso e o recesso sob a borda do vaso. Além disso, após a descarga, as bactérias e os vírus podem se dispersar nas partes externas do vaso sanitário, como o assento, a maçaneta e outras superfícies do banheiro (ABNEY et al., 2021). O desenho do vaso sanitário impede que partes do rebordo sofram a ação de expulsão da água, fornecendo assim um habitat ideal para o estabelecimento de biofilmes persistentes que não são atingidos pelos agentes de limpeza e nem pelos efeitos mecânicos da descarga (BARKER; BLOOMFIELD, 2000).

As bactérias fecais são encontradas nas superfícies dos banheiros em número suficiente para permitir a transmissão da infecção pelas mãos (MENDES; LYNCH, 1976 apud ABNEY et al., 2021). Um estudo demonstrou a sobrevivência de *Salmonella* em superfícies por até 9 dias, *Escherichia coli* por até 8 dias e de *Shigella* por até 5 dias em fezes secas em assentos sanitários (NEWSOM, 1972 apud ABNEY et al., 2021). Foram encontrados frequentemente patógenos oportunistas como *P. aeruginosa* e *E. coli* bem como outras enterobactérias em locais como assento e alça do vaso sanitário, sugerindo transferência proveniente do interior do vaso. Todavia, a extensão dessa transferência foi considerada limitada em condições normais e, portanto, o risco de infecção seria baixo (BLOOMFIELD; SCOTT, 1997 apud ABNEY et al., 2021).

No entanto, em condições atípicas, como quando uma pessoa está tendo crises de diarreia aguda com fezes aquosas contendo um alto título do patógeno entérico, o risco pode ser muito elevado. Vários estudos relataram a contaminação de banheiros hospitalares compartilhados por pacientes. Amoah et al. (2020) descobriram que 53–63% das superfícies dos banheiros estavam contaminadas com SARS-CoV-2. A maior concentração do vírus foi encontrada

no assento do vaso sanitário e na alça de descarga da cisterna. O vírus SARS-CoV-2 foi recuperado do assento do vaso sanitário, maçaneta da porta do banheiro e pias em banheiros que abrigam pacientes com infecções por SARS-CoV-2 (DING et al., 2021).

Em um estudo que investigou a presença de fluidos corporais em um ambiente doméstico, hemoglobina foi encontrada em 2% das superfícies – torneiras, lavatórios, vasos sanitários e assentos –, indicando a presença de sangue e possível contaminação por vírus transmitidos pelo sangue. A amilase – indicador de saliva, suor e urina – foi encontrada em 29% das superfícies frequentemente manipuladas ou de contato com urina. Isso destaca que as superfícies podem permanecer sujas por algum tempo e podem não ser completamente limpas (BELLAMY et al., 1998 apud BARKER; STEVENS; BLOOMFIELD, 2001).

Todavia, é importante ressaltar que o contato com patógenos não resulta necessariamente em infecção. A dose infecciosa depende da espécie do patógeno ou mesmo da cepa do patógeno. Por exemplo, segundo Barker e Bloomfield (2000), patógenos fecais-orais com baixa dose infecciosa, e que podem ser transmitidos pelas superfícies de banheiros, são: cepas de *Salmonella* específicas, *Shigella* sp., *Campylobacter* sp., Rotavírus, Calicivírus e *E. Coli*O157. Presume-se, por sua vez, que a dose infecciosa de norovírus e rotavírus seja de 10 a 100 partículas virais e uma pessoa infectada com diarreia aguda é capaz de excretar mais de 10¹¹ dessas partículas virais infecciosas por grama de fezes. Portanto, ao avaliar a transmissão de patógenos de pessoas infectadas para outras por superfícies, o risco de infecção é muito mais dependente da dose infecciosa de um determinado patógeno do que de sua persistência (GERHARDTS et al., 2012).

2.2.1 Disseminação de Patógenos em Vasos Sanitários

A literatura apresenta muitas evidências sobre a contaminação do ar em banheiros. Uma recente revisão sistemática de Birgand et al. (2020) avaliaram o grau de contaminação do ar por SARS-CoV-2 em hospitais e concluiu que 24% das amostras de ar dos banheiros testaram positivo, com concentrações médias de RNA viral por metro cúbico de ar maior do que para qualquer outra área amostrada. Existem fortes evidências na literatura de que a contaminação em

banheiros está relacionada com a descarga dos vasos sanitários, que libera aerossóis para o ambiente.

Segundo Ali et al. (2021), a pesquisa científica existente demonstrou que a atividade de dar descarga em um vaso sanitário pode causar a liberação de até 80.000 bioaerossóis no ar interno de um banheiro, que podem alcançar em torno de um metro de altura. Li, Wang e Chen (2020) observaram que uma média de 40 a 60% dos aerossóis gerados durante a descarga foram encontrados a uma altura de 106,5 cm acima do piso. Outros estudos apontam ainda que níveis residuais de microrganismos podem permanecer na bacia do vaso sanitário após a lavagem inicial, resultando em aerossolização de microrganismos após lavagens consecutivas (JOHNSON et al., 2013A, 2017; GERBA et al., 1975 apud ABNEY et al., 2021).

A geração de bioaerossóis durante a descarga de um vaso sanitário depende de inúmeros fatores. Abney et al. (2021) apresentam uma lista de fatores que influenciam no grau de aerossolização. São eles: volume de água na bacia e utilizado na descarga, pressão da água, tipo de resíduo, biofilme, existência de cloro, limpeza automática da bacia e posição da tampa – abaixada ou levantada. Além disso, Gormley, Aspray e Kelly (2021) mostraram que a redução do número de partículas emitidas é diretamente proporcional à redução do volume de descarga.

Outra questão está relacionada aos sistemas de drenagem de águas residuais em edifícios. O estudo de Gormley, Aspray, Kelly (2021) aponta que esses sistemas podem ser um reservatório potencial de bactérias e vírus, principalmente quando há deficiências na manutenção. Os resultados desse estudo mostraram que um organismo traçador liberado no sistema de encanamento sanitário pode ser detectado no duto de extração de uma sala no andar acima. Ainda segundo o estudo, normalmente, um evento de descarga de vaso sanitário com duração de 10 segundos resulta na emissão de aerossóis na edificação ao longo de 60 segundos.

A pesquisa de Gormley, Aspray e Kelly (2021) estimou, ao estender a linha de tendência nos dados de Asadi et al. (2019), que o número de partículas emitidas

pelo sistema de encanamento sanitário como resultado de uma descarga do vaso sanitário é equivalente a uma pessoa falando alto por cerca de seis minutos e meio. Além disso, o mesmo estudo afirmou que 99,5% das partículas geradas apresentaram diâmetro menor que 5 μm , podendo alcançar longas distâncias dentro de edifícios. Na Figura 1 é apresentada a rota de transmissão do SARS-CoV-2 em um edifício alto localizado na China.

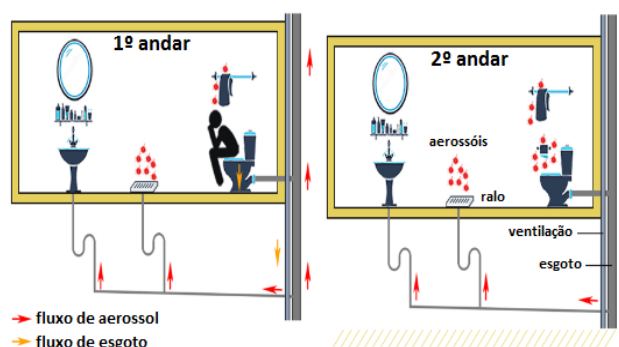


Figura 1 - Rota de transmissão do SARS-CoV-2 em um edifício
Fonte: adaptado de Kang (2020)

É importante ressaltar ainda que os bioaerossóis gerados no processo de descarga do vaso sanitário podem ser depositados nas diversas superfícies do banheiro, como o assento ou tampa do vaso sanitário, lavatório, puxador da torneira e maçanetas internas. Segundo Gerba et al. (1975) apud Abney et al. (2021), bactérias e vírus semeados no vaso sanitário antes da descarga foram ejetados do vaso durante a descarga e se estabeleceram nas superfícies de todo o banheiro por até duas horas, sendo que a contaminação das superfícies foi maior nas áreas mais próximas ao vaso sanitário.

2.2.2 Disseminação de Patógenos em Lavatórios

Outra possível fonte de contaminação em banheiros são os lavatórios. Dancer et al., (2021) destacam que, as bacias dos lavatórios, se contaminadas por muco nasal, saliva e/ou escarro, pode ter esses resíduos aerossolizados quando o jato de água da torneira colide com o fundo da bacia.

O estudo de De Geyter et al. (2017) demonstrou através de experimentos de amostragem de ar que é possível que bactérias presentes no biofilme de uma pia sejam transportadas para o ar acima do ralo através de aerossóis, quando a torneira está ligada. Os autores concluem que a pia é um reservatório úmido

ideal para sobrevivência de bactérias Gram-negativas, podendo promover a seleção de cepas bacterianas resistentes e que a adoção de sifões autodesinfetantes pode ser uma solução.

Vários estudos demonstraram a disseminação de bactérias colonizadas em ralos de pia para as superfícies externas, tais como o *Staphylococcus aureus*, havendo estudos que detectaram essas bactérias nesses ambientes (ABABNEH et al., 2022). Hota et al. (2009) discutem em seu estudo as razões de um surto de infecção pela *Pseudomona aeruginosa* em pacientes internados na unidade de terapia intensiva de um hospital terciário, apontando a formação de biofilme nos ralos das pias como principal causa. Testes com o uso de um marcador fluorescente comercial demonstraram que, quando a pia foi usada para lavar as mãos, o conteúdo do ralo espirrou a pelo menos 1 metro da pia. O estudo destaca a importância dos biofilmes e do *design* da pia na disseminação de patógenos e sugere algumas estratégias para reduzir os riscos associados às pias hospitalares.

O estudo de Pirzadian et al. (2022) sobre o impacto do *design* de pias na transmissão de bactérias concluiu que torneiras posicionadas diretamente sobre ralos aumentam o risco de dispersão, assim como lavatórios com profundidades relativamente rasas, entre 140 e 150 mm. Outros fatores de risco identificados no estudo incluem o gotejamento em torneiras e as bacias de fundo chato.

Finalmente, Kotay et al. (2018) concluíram em seu estudo que o número de bactérias diminuiu substancialmente dentro de 30 minutos após o uso da torneira, sugerindo que os organismos estavam associados com partículas maiores do tamanho de gotículas que não ficam suspensas no ar por longos períodos, ao contrário dos aerossóis.

Dessa forma, a partir dos estudos analisados, pode-se concluir que as principais rotas de transmissão de patógenos em sanitários e banheiros estão localizadas no vaso sanitário e no lavatório. No vaso sanitário, a transmissão ocorre predominantemente por contato com superfícies contendo partículas contaminadas decorrentes de gotejamento de urina ou outros fluidos corporais como o vômito ou que são dispersas como aerossóis após a descarga e se

depositam nessas superfícies. Esses mesmos aerossóis também podem ocasionar em transmissão aérea ou transmissão fecal-aerossol. Nos lavatórios, também em virtude dos aerossóis dispersos no ambiente e depositados nas superfícies, a transmissão tende a ocorrer predominantemente por contato. Também parece ser possível a transmissão por gotículas e aerossóis, quando a pia encontra-se contaminada por secreções ou existe um biofilme de patógenos no ralo, por exemplo, associado a algumas condições específicas de layout das peças e mecanismos utilizados.

2.2.3 Medidas Preventivas em Sanitários e Banheiros

Para evitar a transmissão de patógenos em banheiros, WHO (2020a) aponta que banheiros compartilhados devem ser limpos pelos menos três vezes ao dia, enquanto os individuais devem ser higienizados pelo menos duas vezes ao dia. Ressalta-se também a importância da higienização dos vasos sanitários e superfícies com alta frequência de contato, como dispositivos de acionamento e maçanetas.

Com relação aos vasos sanitários, o projeto de tanque cisterna foi relatado como a melhor opção de descarga devido à geração mínima de aerossóis (LAI et al., 2018). Wu et al. (2020) demonstraram, usando a dinâmica de fluidos computacional, os benefícios de um novo modelo de vaso sanitário que consiste na técnica de cortina líquida. Os resultados mostraram que o modelo pode reduzir o percentual de geração de partículas virais ascendentes para apenas 1%. Finalmente, fechar a tampa do vaso sanitário antes de dar a descarga reduz efetivamente os patógenos transportados pelo ar (ALI et al., 2021).

Com relação aos lavatórios, o trabalho recente de Benoit et al. (2021) expõe como o *design* do arejador da torneira influencia na distribuição do diâmetro do aerossol gerado. Os autores recomendam selecionar cuidadosamente e evitar, quando possível, o uso de arejadores em estabelecimentos de saúde. Os autores afirmam que arejadores de baixo fluxo bem conservados provavelmente resultam em menor produção de aerossóis contaminados. No entanto, esse tipo de arejador pode ser mais suscetível a incrustações e desenvolvimento de biofilme. Arejadores simples devem ser preferidos, tendo em vista que os modelos mais complexos fornecem maior área de superfície para crescimento

de biofilme e são difíceis de limpar adequadamente. Outras medidas que podem ser adotadas em relação a essa peça sanitária é evitar a escolha de cubas rasas e de fundo chato, e realizar manutenção periódica para evitar gotejamentos na torneira (PIRZADIAN et al., 2022).

Vale destacar também que as toalhas de papel descartáveis são superiores aos secadores de ar para limitar a propagação de patógenos em banheiros. Os secadores podem exacerbar a sedimentação das partículas ou até mesmo reaerossolizar partículas respiratórias depositadas nas superfícies (HUANG et al., 2012; MARGAS et al., 2013; MOURA et al., 2021).

Outra medida de prevenção que deve ser adotada nessas áreas, e em outras áreas consideradas insalubres, é a exaustão do ar diretamente para a atmosfera através de um duto separado do sistema de exaustão (CDC, 2003). Com relação à contaminação em sistemas sanitários de edifícios, é importante ressaltar que defeitos relacionados à perda de vedação do coletor de água podem criar uma rota de transmissão cruzada de ar potencialmente contaminado do sistema para o edifício, expondo os habitantes à doenças transmitidas pelo ar (GORMLEY; ASPRAY; KELLY, 2020).

Finalmente, existem muitas modificações de *design* para banheiros que poderiam ser implementadas visando a redução do número de superfícies de contato e da aerossolização. Exemplos disso incluem o uso de banheiros a vácuo com tigelas antiaderentes comumente usadas em aeronaves, luz UV ativada por tampa para desinfecção, dispensadores automáticos de sabão e adoção de superfícies antimicrobianas futuristas, como cobre ou prata, para pontos de contato comuns (DANCER, 2014; INKINEN et al., 2017). Dado o efeito virucida da luz UV, seria útil encorajar entrada de luz solar em instalações sanitárias (RATNESAR-SHUMATE et al., 2020; REN et al., 2020).

3 FATORES AMBIENTAIS DETERMINANTES NA AVALIAÇÃO DE RISCOS

3.1 Temperatura e Umidade do Ar

Umidade relativa, umidade absoluta, temperatura e luz solar são os principais fatores ambientais que afetam a viabilidade de vírus respiratórios transportados pelo ar. Os efeitos desses fatores ambientais sobre a viabilidade de vírus pode ser atribuída tanto a impactos diretos na estabilidade do vírus ou impactos indiretos relacionados a resposta do hospedeiro e seu sistema imunológico (PICA; BOUVIER, 2012).

Primeiramente, é importante citar as recomendações de faixas de temperatura e umidade disponíveis na literatura. AIA (2001) afirma que padrões de temperatura fria (20 a 23°C) geralmente estão associados a salas de cirurgia e endoscopia. Já em áreas que requerem maior grau de conforto do paciente, a temperatura de 24°C é adequada. ASHRAE (2017) recomenda que a temperatura em áreas hospitalares seja mantida entre 21 e 24 °C.

Sobre a umidade, para a maioria das áreas internas de uma instalação de saúde, a faixa de conforto designada é de 30% a 60% de umidade relativa (AIA, 2001). Ainda sobre a umidade, OSHA (2020a) e ASHRAE (2021) aconselham manter a umidade relativa entre 40-60%. ASHRAE (2021) afirma ainda que umidade relativa abaixo de 40% reduz a função do sistema imunológico e aumenta a transmissão de alguns vírus e gotículas transportados pelo ar – COVID-19 ainda em estudo. Além disso, a baixa umidade aumenta a taxa de sobrevivência de patógenos e diminui a eficácia da higiene das mãos e limpeza da superfície devido à recontaminação da superfície ou secagem muito rápida de desinfetantes. No Quadro 1 é apresentado um resumo dos padrões de umidade e temperatura encontrados nas normas para algumas áreas hospitalares de uso comum.

Quadro 1 - Padrões de temperatura e umidade para áreas hospitalares

PARÂMETRO	BANHEIROS PÚBLICOS		TRIAGEM DE EMERGÊNCIA		SALA DE ESPERA DE EMERGÊNCIA	
	ASHRAE 170-2017	AIA 2001	ASHRAE 170/2017	AIA 2001	ASHRAE 170/2017	AIA 2001
Umidade Relativa Máxima (%)			60			
Temperatura Máxima (°C)	22/26	24	21/24	21/24	21/24	21/24

Fonte: A autora (2023), a partir de AIA (2001) e ASHRAE (2017).

As evidências existentes demonstram que aerossóis contendo MERS-CoV são muito menos ativos em um ambiente quente e seco, tendo em vista que o revestimento proteico do vírus pode ser prejudicado em altas temperaturas, ocasionando perda da infectividade (RAHMAN et al., 2021)

Mozumder et al. (2021) estudaram a influência da temperatura e umidade no número de casos de COVID-19 numa escala global, a partir da coleta de dados das nove cidades com maior disseminação de casos da doença em todo o mundo. A análise da regressão não encontrou nenhuma correlação significativa entre essas variáveis. As cidades com amplas variações de temperatura apresentaram correlação negativa entre temperatura e transmissão da COVID-19. Todavia, com relação a umidade relativa, não foi estabelecida forte correlação. Uma associação negativa moderada entre o número de reprodução viral e temperaturas superiores a 25 °C também foi encontrada por Xu et al. (2021), enquanto nenhuma relação óbvia foi encontrada para a umidade (WEI et al., 2022), sendo estes resultados coerentes com os encontrados por Mozumder et al. (2021).

Um estudo que levantou dados de 46 estados dos Estados Unidos concluiu que o número de reprodução viral do SARS-CoV-2 diminuiu quando a temperatura estava na faixa de 0 a 11 °C e maior que 20 °C, tendo aumentado quando a temperatura estava entre 11 e 20 °C (RUBIN et al., 2020).

Na regressão linear realizada por Haque e Rahman (2020) com dados meteorológicos de Bangladesh, foram encontrados resultados que indicam que uma alta temperatura e uma alta umidade reduzem significativamente a transmissão da COVID-19. Wu et al. (2020), corroborando com o estudo anterior, afirmam que cada unidade aumentada de temperatura pode ocasionar uma redução de 3,08% em novos casos diários, enquanto o aumento na umidade

relativa resultou em redução de 0,85% nos novos casos diários. Esses dados refletem também que a temperatura parece ter maior influência do que a umidade no controle da disseminação do vírus.

O estudo de Seah et al. (2023) sobre a influência da qualidade do ar e das condições meteorológicas nas infecções de Influenza A e B também encontrou uma associação negativa entre temperatura e o risco de infecção. Os autores afirmam que temperaturas mais baixas podem melhorar a capacidade de sobrevivência do vírus da gripe e, assim, aumentar a probabilidade de exposição a indivíduos suscetíveis. Sobre a influência da umidade, por sua vez, afirmam que em umidade mais alta, as gotículas respiratórias que carregam o vírus da gripe não evaporam tão rapidamente e, portanto, uma maior massa de gotículas é depositada nas superfícies, o que pode resultar em um risco aumentado de transmissão de fômites. Dessa forma, tanto a alta como a baixa umidade estariam, de forma independente, associadas ao aumento da estabilidade do vírus. Todavia, no estudo foi constatada associação positiva entre umidade e infecções por influenza B.

Wang (2021) explica que a temperatura e a umidade mais alta tem o potencial de suprimir a transmissão do SARS-CoV-2, tendo em vista que o vírus da gripe é mais estável em ambientes frios e que as gotículas respiratórias permanecem suspensas no ar por mais tempo em climas secos. Kudo et al. (2019) acrescentam ainda que o clima frio e seco pode enfraquecer a imunidade do hospedeiro tornando-o mais suscetíveis ao vírus. Além disso, as evidências existentes a respeito do SARS-CoV-1 (CHAN et al., 2011) e MERS (DOREMALEN; BUSHMAKER; MUNSTER, 2013) podem indicar que a viabilidade do vírus seria prejudicada em umidade relativa extremamente alta. Dessa forma, os estudos que foram desenvolvidos com dados de maior escala apresentaram resultados similares, que indicam que a alta temperatura está relacionada a redução da disseminação do SARS-CoV-2, sendo esse um fator mais importante que a umidade. Todavia, pode-se dizer também, com base nesses estudos, que a alta umidade parece estar relacionada à redução do número de casos da doença, apesar de ainda haver incertezas sobre a relevância desse fator.

Entretanto, outras controvérsias a respeito da influência da umidade na disseminação do vírus foram encontradas na literatura. Um estudo que investigou a propagação de gotículas respiratórias geradas pela fala concluiu que, em ambientes quentes e secos, as gotículas percorrem menos de 1,8 metros. Por outro lado, segundo o mesmo estudo, em um ambiente frio e úmido, a distância máxima de propagação pode ser de até 3,6 metros, e o número de partículas de aerossol também aumenta (ZHAO et al., 2020). Em um ambiente frio e úmido, o tamanho das gotículas diminui devido ao efeito Kelvin e, portanto, as mesmas são capazes de percorrer distâncias maiores (YANG; MARR, 2011). É importante mencionar também que a redução no tamanho das gotículas está relacionada a uma maior probabilidade de deposição nas vias aéreas humanas, o que aumenta o risco de infecção (HAMMER, 2020 e WANG, 2021). Dessa forma, esses estudos apontam que climas úmidos são favoráveis a disseminação do vírus, o que é uma controvérsia no que diz respeito a influência da umidade relativa com relação aos estudos de maior escala apresentados anteriormente.

Em face das controvérsias apresentadas no que diz respeito ao efeito da umidade relativa do ar na transmissão do SARS-CoV-2, Casanova et al. (2010) mostraram que acima de uma umidade relativa de 80% ou inferior a 20%, a maioria dos coronavírus ainda está ativa após 2 dias a uma temperatura constante de 20 °C. Ainda segundo os autores, a uma temperatura constante e umidade relativa de 50%, menos de 1% dos vírus sobreviveram após 2 dias. O mesmo estudo recomenda que, para conter a propagação do vírus da COVID-19, a temperatura ambiente seja estabelecida na faixa de 25 °C a 27 °C e a umidade relativa entre 50% e 70%.

Segundo Krishnan et al. (2022), todos os patógenos humanos são mesófilos e crescem melhor em temperaturas moderadas. Dessa forma, embora o efeito da umidade na disseminação de patógenos permaneça bastante controverso, as temperaturas moderadas a quentes podem reduzir a propagação viral pela redução da distância de dispersão e pela redução da infectividade, sendo esse um fator mais relevante no momento quando comparado ao primeiro.

3.2 Luz Solar

Uma abordagem direta para prevenir a transmissão aérea é a inativação de patógenos, e o potencial antimicrobiano da luz ultravioleta UVC foi estabelecido há muito tempo (WELCH, 2018). Em 1890, o efeito germicida da luz solar foi demonstrado para o bacilo da tuberculose, prenunciando sua importância ao longo do próximo século (KOCH, 1980 apud ABKAR et al., 2022). Um estudo pluri-anual de 1942 em escolas da Filadélfia relatou que as taxas de infecção por sarampo foram reduzidas de mais de 50% para menos de 16% em salas de aula com irradiação UVC do ar superior (WELLS et al., 1942 apud ABKAR et al., 2022). Jensen relatou 99,9% de inativação de vírus influenza e *vaccinia* e 96,8% de adenovírus decorrente da aplicação da UVC (JENSEN, 1964 apud ABKAR et al., 2022). A eficácia da medida foi confirmada também durante os surtos de SARS em 2002 e MERS em 2015. Finalmente, mais recentemente, a pandemia de SARS-CoV-2 voltou a aumentar o interesse em *Ultraviolet Germicidal Irradiation* (UVGI) para espaços públicos (ABKAR et al., 2022).

O SARS-CoV-2, por exemplo, pode ser inativado rapidamente pela luz solar em superfícies, o que sugere que a persistência e o risco de exposição subsequente podem variar significativamente entre ambientes internos e externos. Dessa forma, a luz solar também pode ser considerada uma estratégia de mitigação para minimizar o potencial de transmissão de aerossóis (AZUMA et al., 2020).

A luz UVC distante de baixa dose é uma ferramenta promissora, segura e barata para uso em locais públicos fechados visando a redução da propagação de doenças microbianas mediadas pelo ar. Ela pode inativar com eficiência bactérias sensíveis e resistentes, bem como diferentes cepas de vírus (BUDOWSKY et al., 1981 apud WELCH, 2018).

3.3 Ventilação

A ventilação dilui contaminantes e, com isso, aumenta o tempo de exposição necessário para que um indivíduo seja exposto a uma dose infecciosa e contraia a doença. Por exemplo, a distribuição do ar em uma sala pode contribuir para o aumento do risco caso provoque o aumento da distância percorrida pelas gotículas grandes (ASHRAE, 2020). Dessa forma, se a ventilação não puder ser

aumentada, o nível de ocupação da instalação deve ser reduzido, aumentando então a ventilação de diluição efetiva por pessoa (OSHA, 2020a).

No contexto de uma instalação hospitalar, a ventilação é um fator ainda mais crucial para evitar a disseminação de doenças. Muito se fala na literatura sobre os centros cirúrgicos, as áreas de isolamento de pacientes acometidos por infecções transmitidas pelo ar e os ambientes protegidos que abrigam pacientes imunossuprimidos ou de alto risco. Um centro cirúrgico, por exemplo, pode conter microrganismos, poeira, aerossol, células epiteliais escamosas e gotículas respiratórias, sendo o nível microbiano do ar, nesses espaços, diretamente proporcional ao número de pessoas que se movem na sala (AYLIFFE, 1991 apud CDC, 2003).

Dessa forma, a manutenção de condições ambientais que envolvam uma ventilação adequada e o controle da temperatura e umidade é importante não somente para o conforto dos trabalhadores e pacientes, mas também para a prevenção da proliferação e transmissão de microrganismos nessas áreas (EVERETT, KIPP, 1991 apud CDC, 2003).

Idealmente, um sistema de ventilação deve funcionar em conjunto com exaustão e pressurização para isolar ou conter os contaminantes em determinadas áreas (ASHRAE, 2020). Em áreas hospitalares, quando não são realizados procedimentos geradores de aerossóis, considera-se como uma ventilação adequada um mínimo de 6 trocas de ar por hora - *air changes per hour* (ACH) – para áreas ventiladas mecanicamente, ou 60 litros/segundo por paciente para áreas ventiladas naturalmente (ASHRAE, 2017).

Todavia, apesar das inúmeras vantagens dos sistemas de ventilação na prevenção da disseminação de doenças, é importante destacar que tais sistemas geralmente requerem um uso intensivo de energia, mesmo quando reaproveitada. A filtração, por sua vez, pode ser uma alternativa de menor demanda energética para reduzir o risco de infecção (ASHRAE, 2020).

Nesse contexto vale a pena citar a COVID-19 e a Tuberculose, por exemplo, doenças estas que possuem a transmissão aérea como uma das principais rotas de transmissão, principalmente em ambientes fechados mal ventilados.

3.4 Tipo de Superfície

Antes de tudo, é importante fazer uma distinção entre bactérias e vírus. Segundo Kolel-Veetil, Sen e Buehler (2021), as bactérias são sistemas “vivos” devido à sua capacidade de produzir energia para auto sustentação; os vírus, por sua vez, são 'inertes', pois precisam de uma célula hospedeira para sustentar sua função e crescimento. Assim, a energia que bactérias ou vírus derivam de materiais inanimados – plásticos, metais, cerâmicas, tecidos e materiais vivos como pele e outros biomateriais – deve ser entendida fundamentalmente para que seja possível o desenvolvimento de métodos apropriados para combater esses organismos em cada instância. Além disso, em relação aos vírus, enquanto a alteração das suas estruturas de ligação por si só pode ser suficiente para alcançar a bioinatividade, com as bactérias, talvez seja necessário a desativação em um nível celular para torná-las ineficazes. Além disso, os tamanhos desses patógenos também variam. As dimensões estruturais dos vírus ficam em nms e de bactérias em μms , respectivamente.

Marquès e Domingo (2021) cita o estudo de Doremalen et al. (2020), que consistiu em dez experimentos envolvendo coronavírus. O estudo demonstrou que o SARS-CoV-2 foi mais estável em plástico e aço inoxidável do que em cobre – a meia-vida média estimada foi de aproximadamente 5,6 horas em aço inoxidável, 6,8 horas em plástico e 1 hora em cobre. Vírus viável foi detectado até 72 horas após a aplicação nessas superfícies.

Liu et al. (2021) concluíram que o SARS-CoV-2 era estável em plástico, aço inoxidável, vidro, cerâmica, madeira, luvas de látex e máscara cirúrgica, tendo permanecido viável por sete dias nessas superfícies. No entanto, nenhum vírus infeccioso foi detectado em roupas de algodão após quatro dias e em papel após cinco dias.

Marquès e Domingo (2021) apresentam também o estudo de Aboubakr et al. (2020) que corrobora com os resultados anteriormente citados. Nesse estudo concluiu-se que a persistência de SARS-CoV-1 e SARS-CoV-2 é significativamente baixa em cobre, látex e tecidos menos porosos em comparação com superfícies como metais (aço inoxidável e zinco), vidro e tecidos mais porosos.

Feijão et al. (1982) rastrearam a sobrevivência dos vírus influenza A e B em várias superfícies, descobrindo que ambos sobreviveram até 48 horas em superfícies duras e não porosas, como aço inoxidável e plástico, e até 12 horas em superfícies porosas, como pano, papel e tecidos (Stephens et al., 2019). A transmissão por fômite de vírus influenza foi considerada possível porque o vírus influenza pode ser transferido das superfícies de aço inoxidável para as mãos por até 24 h após a deposição (e dos tecidos para as mãos por até 15 minutos após a deposição). O vírus, em seguida, sobreviveu nas mãos por um período adicional de 5 minutos após a transferência dos fômites testados (BEAN et al., 1982 apud STEPHENS et al., 2019)

Oxford et al. (2014) descobriram que o vírus influenza A H1N1sw permaneceu infeccioso por até 48 horas em uma superfície de madeira, por 24 horas em superfícies de aço inoxidável e plástico, e por 8 horas em uma superfície de tecido. Perry et al. (2016) descobriram que duas cepas de vírus influenza A (H1N1) depositadas em superfícies de aço inoxidável permaneceram infecciosas pelo período de uma semana período, com uma perda de 99% na infectividade ao longo de 7 dias. Finalmente, Jones e Lutz (2014) mediram o tempo médio de sobrevivência de *Pseudomonas aeruginosa* em laminado, vidro e aço inoxidável que foi de 3,75, 5,75 e 6,75 horas, respectivamente.

Ao delimitar o olhar para os sanitários e banheiros, pode-se concluir que as superfícies são, em sua maior parte, compostas por aço inoxidável (torneiras e descarga). Os vasos sanitários são construídos em porcelana e seu assento geralmente é composto de material plástico. Quando existe caixa de descarga, geralmente o material do acionamento é constituído de metal. Os *dispensers* de sabão também são mais comumente constituídos de plástico. A bacia dos lavatórios geralmente é constituída de porcelana, mas também pode ser encontrada em aço. Dessa forma, aço inoxidável, porcelana e plástico são os materiais mais comuns encontrados em banheiros, todos com baixa porosidade, o que pode aumentar o risco de contaminação, conforme visto nos estudos apresentados.

3.4.1 Efeito da Temperatura e da Umidade em Superfícies

É importante ressaltar que a estabilidade do vírus em uma superfície pode ser influenciada pela temperatura e umidade do ambiente, fatores já discutidos em tópico anterior. Wei et al. (2022) afirma que uma queda na temperatura e na umidade fortalece a estabilidade do vírus em aço inoxidável, corroborando com o estudo de Chan et al. (2011), que afirma que uma alta temperatura combinada com uma alta umidade relativa tem um efeito sinérgico na inativação da viabilidade do SARS-CoV. Dessa forma, segundo esses estudos, temperaturas mais baixas e baixa umidade dão suporte à sobrevivência prolongada do vírus em superfícies contaminadas.

Riddell et al. (2020) também encontraram resultados que corroboram com essa conclusão. Segundo os autores, a 20 °C e umidade relativa de 50%, o SARS-CoV-2 inoculado ainda era detectável após 28 dias para todas as superfícies não porosas testadas – vidro, cédula de polímero, aço inoxidável, vinil e notas de papel. A 30 °C, o vírus foi detectado por 7 dias no aço inoxidável, notas de polímero e vidro e por 3 dias em vinil e tecido de algodão. Finalmente, a 40°C, houve significativa redução em comparação com os experimentos de 20°C e 30°C, sendo que o SARS-CoV-2 não foi detectado após 24 horas para tecido de algodão e 48 horas para as demais superfícies testadas.

Perry et al. (2016) descobriram que a infectividade do vírus influenza A (H1N1) diminuiu mais rapidamente ao longo do tempo em umidade absoluta mais alta, o que é consistente com outros estudos semelhantes.

Finalmente, é importante ressaltar que o tipo de superfície não parece impactar significativamente na taxa de deterioração do vírus, o que leva a crer que a capacidade de sobrevivência do mesmo em superfícies sofre maior influência da temperatura e da umidade (AZUMA et al., 2020).

4 METODOLOGIA

O presente estudo buscou desenvolver uma metodologia para análise de risco relacionada à transmissão do Sars-CoV-2 dentro de um ambiente hospitalar. Todavia, como uma instalação hospitalar envolve processos e ambientes complexos, optou-se por limitar a área de estudo para a qual será realizada a avaliação de riscos. Assim, a área de estudo escolhida foi um sanitário de uso comum dotado de bacia sanitária e lavatório, sem chuveiro. Essa escolha ocorreu pelo fato de os sanitários serem considerados ambientes insalubres, mal ventilados e de área restrita, além de serem ambientes com alta circulação de pessoas, conferindo a esses notável potencial de contaminação.

4.1 Tripé de Riscos

A análise dos estudos sobre a transmissão de agentes infecciosos culminou na identificação dos três principais fatores influenciadores na análise de riscos, cuja interação entre esses pode resultar no evento principal de transmissão. São eles: fator ambiental, fator humano e fator de transmissão. A essa associação de fatores deu-se o nome de tripé de riscos, conforme Figura 2.

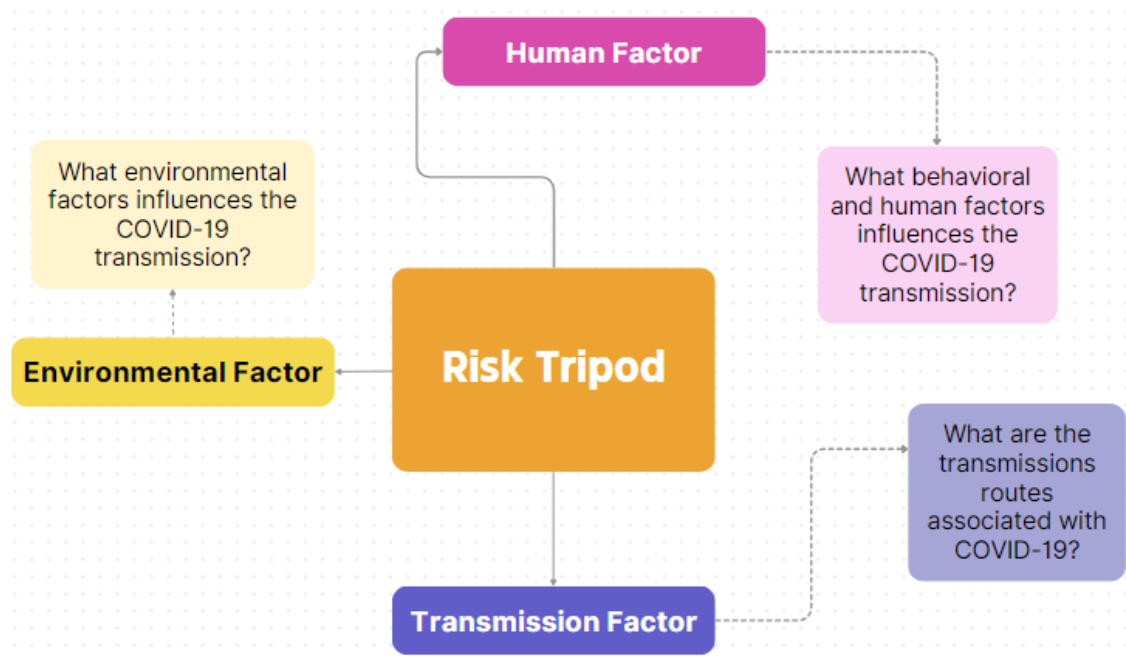


Figura 2 - Tripé de riscos
Fonte: a autora

Dessa forma, para cada um dos componentes do tripé, foi selecionada, para aplicação, uma técnica amplamente conhecida na área de segurança ambiental e do trabalho, conforme:

- Fator ambiental: análise de modos de falhas e efeitos
- Fator humano: análise ergonômica do trabalho
- Fator de transmissão: análise de árvore de falhas

Nos capítulos subsequentes é apresentada a fundamentação teórica dessas técnicas e sua aplicação no presente trabalho, para o componente do tripé indicado.

4.1.1 ***Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)***

A metodologia de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) foi introduzida em 1949 pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América (EUA) para analisar e organizar falhas de acordo com seu impacto no sucesso da missão e segurança do equipamento (STONE; TUMER; STOCK, 2005).

O fato é que, desde então, a FMEA tem sido amplamente utilizada no setor de *design* industrial e nas atividades de prevenção relacionadas aos processos de fabricação, incluindo aeroespacial, máquinas, eletricidade, veículos, entre outros, sendo considerada uma técnica eficaz de análise de confiabilidade (STAMATIS, 2003).

O objetivo da FMEA é identificar as ações corretivas necessárias para prevenir falhas, evitando que cheguem aos clientes, melhorando a confiabilidade e a qualidade de um produto ou serviço. Uma boa FMEA consiste em identificar os modos de falha conhecidos e potenciais, as causas e efeitos dessas falhas, priorizando-as de acordo com seu nível crítico e aplicando medidas corretivas (STAMATIS, 2003).

Recomenda-se que a FMEA seja iniciada com a identificação de todos os modos de falha possíveis. Tendo cessado os modos de falha potenciais, os efeitos de cada um deles devem ser listados e então as severidades devem ter seus índices atribuídos. A determinação das possíveis causas dos modos de falha é o próximo

passo, seguido da avaliação da probabilidade de sua ocorrência. Posteriormente, os controles disponíveis para prevenir cada causa – ou identificação do próprio modo de falha – devem ser ouvidos, e os índices de detecção devem ser atribuídos de acordo com a precisão de cada controle. Por fim, o número de prioridade de risco (NPR) deve ser calculado e as ações recomendadas para prevenir as causas, reduzir os efeitos negativos e melhorar os controles existentes (STAMATIS, 2003).

Palady (1997) apresenta algumas regras básicas para uma adequada aplicação do método, são elas: não considerar todos os modos de falha concebíveis, redigir o modo de falha como a expressão negativa da função – caso haja dificuldade na determinação dos modos de falha – e desenvolver independentemente cada coluna da FMEA.

Todavia, existem alguns problemas na metodologia. Liu, Liu e Liu (2013), após ampla pesquisa bibliográfica, elaboraram uma tabela com as principais deficiências da metodologia FMEA. Dentre elas destacam-se: a importância relativa entre ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D) não é considerada; a interdependência entre os fatores de risco e efeitos é negligenciada; as diferentes combinações de O, S e D podem produzir exatamente o mesmo valor de NPR, mas suas implicações de risco podem ser totalmente diferentes; os três fatores de risco são difíceis de serem avaliados com precisão; os três fatores de risco possuem escala de conversão dos escores diferentes; a fórmula matemática para o cálculo do NPR é extremamente sensível a variações em O, S e D.

A metodologia FMEA é baseada na apresentação de dados em tabela. As informações da análise são exibidas visualmente em uma série de linhas e colunas da planilha, conforme Figura 3.

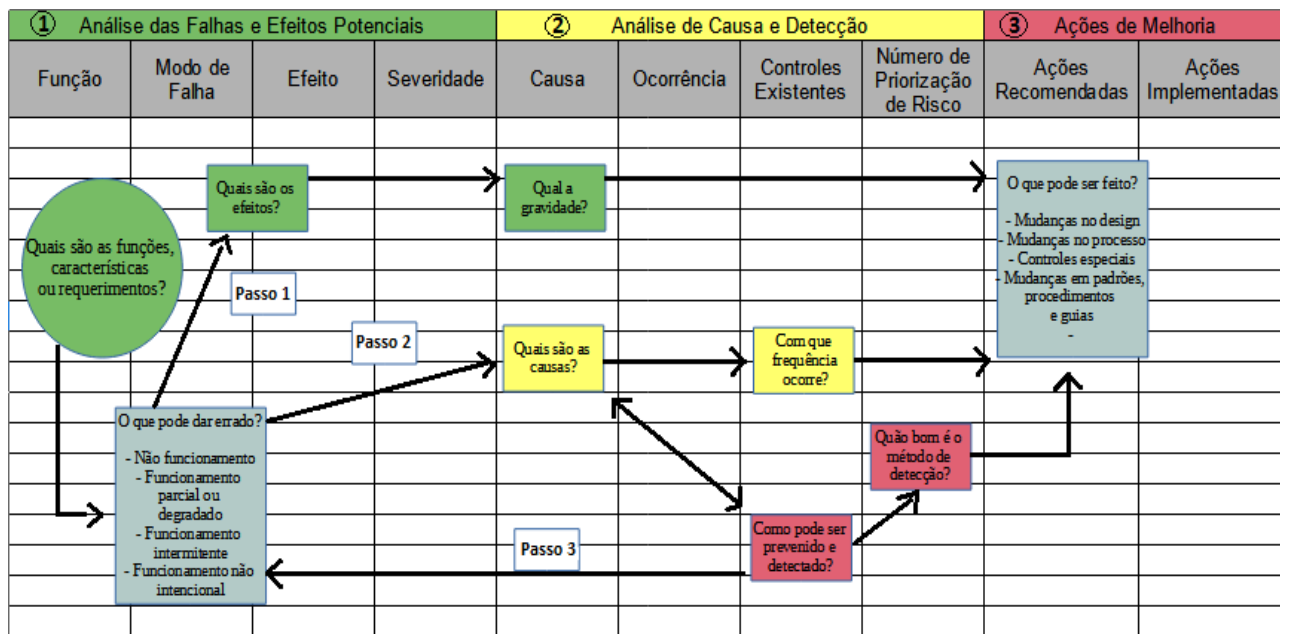


Figura 3 - Representação esquemática da metodologia FMEA
 Fonte: Adaptado de Cabanes et al. (2021)

A seguir é apresentado um detalhamento das etapas de aplicação da metodologia FMEA (AIAG, 2008; FORD MOTOR COMPANY, 2011; CARLSON, 2012; PALADY, 1997; LIU; LIU; LIU, 2013).

- Análise das Falhas e Efeitos Potenciais
 - a Formação da equipe: A FMEA não pode ser realizada por um único indivíduo, devendo contar com a participação de uma equipe multidisciplinar. A composição dessa equipe deverá variar de acordo com a natureza do projeto.
 - b Mapeamento das funções do processo, produto ou serviço: O objetivo desta atividade é identificar e esclarecer funções, requisitos e especificações relevantes para o escopo definido. Nesse momento, recomenda-se a criação de um diagrama de blocos funcional – para FMEA de sistema e projeto – ou fluxograma de processo – para processos.
 - c Identificação dos modos de falha potenciais: O objetivo desta fase é listar cada modo de falha potencial associado com a função ou processo. Quatro tipos de modos de falha podem ocorrer: (1) nenhuma função (o sistema está totalmente não funcional); (2) função parcial ao longo do

tempo (desempenho degradado); (3) função intermitente (cumpre, mas perde alguma funcionalidade ou torna-se inoperante muitas vezes devido a fatores externos); e (4) função não intencional (o desempenho individual dos elementos do sistema é satisfatório mas a interação desses elementos afeta adversamente o produto ou processo). Para essa etapa é recomendável a adoção do método do diagrama de causas e efeitos, *brainstorming* e acesso a relatórios ou registros sobre falhas anteriores.

- d Identificação dos efeitos potenciais dos modos de falhas: Para cada um dos modos de falha identificados, os efeitos/consequências deverão ser descritos.
- e Estimativa da severidade do efeito: Para tal, deverá ser utilizado o Quadro 2.

Quadro 2 – Severidade de um modo de falha

EFEITO	CRITÉRIO: SEVERIDADE DO EFEITO	RANKING
Perigoso	A falha é perigosa e ocorre sem aviso, suspendendo a operação do sistema e/ou envolve não atendimento das regulamentações governamentais	10
Séria	A falha envolve resultados perigosos e/ou envolve não atendimento das regulamentações governamentais ou padrões	9
Extrema	O produto é inoperável com perda da sua função primária. O sistema é inoperável	8
Maior	A performance do produto é severamente afetada. O sistema pode não operar	7
Significante	A performance do produto é degradada. Funções de conforto podem não operar	6
Moderado	Efeito moderado na performance do produto. O produto requer reparo	5
Baixo	Pequeno efeito na performance do produto. O produto não requer reparo	4
Menor	Menor efeito na performance do produto.	3
Muito menor	Efeito muito menor no produto ou na performance do sistema	2
Nenhum	Nenhum efeito	1

Fonte: Liu; Liu; Liu (2013)

- **Análise de Causa e Detecção**
 - a Identificação das causas potenciais dos modos de falha: O objetivo desta fase é identificar todas as causas concebíveis para cada modo de falha. Pode haver mais de uma causa para o mesmo modo de falha e, por definição, se a causa ocorrer, o modo de falha correspondente ocorrerá.
 - b Estimativa da probabilidade de ocorrência: para tal, deverá ser utilizado o Quadro 3.

Quadro 3 – Estimativa da probabilidade de ocorrência

PROBABILIDADE DE FALHA	FREQUÊNCIA DE FALHA	RANKING
Extremamente alta: falha quase inevitável	>= em 2	10
Muito alta	1 em 3	9
Repetidas falhas	1 em 8	8
Alta	1 em 29	7
Moderadamente alta	1 em 80	6
Moderada	1 em 400	5
Relativamente alta	1 em 2000	4
Baixa	1 em 15000	3
Remota	1 em 150000	2
Praticamente impossível	1 em 1500000	1

Fonte: Liu; Liu; Liu (2013)

- c Identificação dos controles existentes: Nesta etapa, para cada causa, serão identificados os controles existentes. Os controles incluem quaisquer atividades que previnam a ocorrência das causas das falhas ou as detectam.
- d Estimativa do rigor das formas de controle na detecção de falhas: Neste ponto, é importante destacar que, na FMEA, os valores altos são negativos e os valores baixos são positivos. Dessa forma, ao contrário do que ocorre com os níveis de severidade e ocorrência, quanto mais alta a pontuação de detecção, menor é a capacidade de detecção da falha. Para realizar essa estimativa, deverá ser utilizado o Quadro 4.

Quadro 4 – Probabilidades de detecção de uma falha ou causa

DETECÇÃO	CRITÉRIO: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DO DESIGN DE CONTROLE	RANKING
Incerteza absoluta	O design de controle não detecta uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha; ou não existe design de controle	10
Muito remota	Chance muito remota do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	9
Remota	Chance remota do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	8
Muito baixa	Chance muito baixa do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	7
Baixa	Chance baixa do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	6
Moderada	Chance moderada do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	5
Moderadamente alta	Chance moderadamente alta do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	4
Alta	Chance alta do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	3
Muito alta	Chance muito alta do design de controle detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	2

DETECÇÃO	CRITÉRIO: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO DO DESIGN DE CONTROLE	RANKING
Quase certa	É quase certo que o design de controle irá detectar uma causa potencial de falha ou seu subsequente modo de falha	1

Fonte: Liu; Liu; Liu (2013)

- Determinação do Número de Prioridade de Risco

O NPR é obtido a partir do produto da ocorrência (O), gravidade (S) e detecção (D), conforme Equação 1:

$$\text{NPR} = \text{O} \times \text{S} \times \text{D} \quad \text{EQ. (1)}$$

onde O é a probabilidade de ocorrer a falha, S é a gravidade da falha e D é a chance de não detectar a falha.

Quanto maior o NPR de um modo de falha, maior o risco. Dessa forma, os modos de falha podem ser classificados e então as ações poderão ser tomadas priorizando os modos de falha de maior risco.

- Medidas Mitigadoras

Essa etapa consiste na definição de ações para reduzir ou eliminar os modos de falha. Isso é feito através da implementação de medidas que possibilitam diminuir a probabilidade de ocorrência da falha ou aumentar a probabilidade de detecção dessa.

A equipe deve acompanhar o andamento das ações recomendadas a fim de identificar necessidades de ajustes, além de documentar as ações para possíveis consultas futuras. Ademais, recomenda-se que os NPRs sejam recalculados após a implementação das medidas mitigadoras a fim de avaliar a eficácia dessas.

Sobre a aplicação da FMEA dentro da temática de contaminação por patógenos, a pesquisa bibliográfica encontrou alguns estudos relacionados a COVID-19. Maggiulli et al. (2020) aplicaram a metodologia FMEA junto a uma equipe multidisciplinar para avaliar o risco de contaminação em um laboratório de fertilização *in vitro* localizado na Itália, com foco no contato entre pacientes e membros da equipe e na contaminação cruzada de amostras de pacientes, concluindo que os protocolos laboratoriais padrões são insuficientes para

enfrentar um vírus cuja transmissão é mediada por aerossol. Sevastru et al. (2020), por sua vez, aplicaram a metodologia FMEA em conjunto com simulação *in situ* para identificar os fatores de risco relacionados à transferência de um paciente contaminado pelo SARS-CoV-2 de uma parte do hospital para outra. Alguns dos modos de falhas identificados na pesquisa foram: falhas para limitar a exposição dos profissionais, falha em estimar o tempo requerido de vestimenta do equipamento de proteção individual (EPI), vias de transferência obstruídas, falhas de comunicação, entre outros. Finalmente, Ambarwati, Yuliasri e Sulistiyowati (2022), desenvolveram um estudo com o objetivo de identificar e determinar o risco de transmissão da COVID-19 entre os funcionários da manufatura na Indonésia utilizando uma combinação das metodologias FMEA e *Bow Tie*. Como resultados, o estudo concluiu que as três atividades com maior valor de NPR foram os serviços de saúde na policlínica, atividades de alimentação dos funcionários na cantina e atividades dentro e fora da fábrica.

4.1.1.1 Aplicação da FMEA

O presente trabalho propõe a aplicação da metodologia FMEA para identificar modos de falha relativos ao fator ambiental do tripé de riscos, no que diz respeito a um sanitário individual de uso comum hipotético localizado em uma instalação hospitalar. Todavia, por se tratar de uma metodologia robusta, optou-se por uma aplicação simplificada da FMEA, extraíndo dessa apenas o que foi considerado relevante para o presente estudo: os modos de falha e suas causas. É importante ressaltar que a FMEA foi elaborada apenas pela autora, sem contribuição de outros profissionais, o que não é o ideal, conforme visto nas recomendações da literatura. Sem dúvida, a participação de uma equipe multiprofissional proporcionaria visão sistêmica e aprofundamento da FMEA, possivelmente ampliando a identificação de modos de falha.

No Apêndice pode ser consultado o resultado da FMEA desenvolvida para o componente ambiental do tripé de riscos.

A partir dos resultados obtidos na aplicação da metodologia FMEA, foi possível a identificação dos fatores de risco listados a seguir. Esses fatores serão classificados conforme descrito e, posteriormente, para cada fator, a depender da classificação, será estabelecida uma pontuação de 1 (um) a 3 (três), do menor

para o maior risco, respectivamente, objetivando o cálculo da pontuação de risco ou *risk score*.

- Intensidade de luz natural – será classificada em baixa, média ou alta, a partir da observação. Quanto maior a intensidade de luz natural, menor o risco.
- Ventilação
 - Janela
 - Se possui ou não – a existência de janela minimiza o risco;
 - Área da janela – considerando as medidas padrão de janelas em banheiros (40x40cm, 50x50cm e 60x60m), quanto maior a área da janela, menor o risco;
 - Localização da janela – considerando que a localização adequada da janela é de 1,70 metros acima do piso, se essa condição for atendida o risco será minimizado;
 - Exaustor
 - Se possui ou não – a existência de exaustor minimiza o risco;
 - Localização do exaustor – considerando que a localização adequada do exaustor é de 2,1 metros acima do piso, se essa condição for atendida o risco será minimizado;
- Existência de um *dispenser* para higienização das mãos – *dispensers* devidamente abastecidos com sabão reduzem o risco;
- Lavatório
 - Pressão da água na saída da torneira – será classificada em baixa, média ou alta, a partir da observação. Quanto maior a pressão da água, maior o risco de aerossolização;
 - Presença de arejador – caso haja arejador, o risco será maior, em virtude da possibilidade de aerossolização;

- Nível de água na bacia – será classificado em baixo, médio ou alto, a partir da observação. Quanto maior o nível d'água, maior o risco de contato com gotículas;
 - Profundidade da bacia – a profundidade (p) da bacia foi classificada em baixa ($140 \text{ mm} \leq p < 150 \text{ mm}$), média ($150 \text{ mm} \leq p < 160 \text{ mm}$) ou alta ($p \geq 160 \text{ mm}$). Quanto menor a profundidade, maior o risco de contaminação;
 - Design da bacia – bacias de fundo chato possuem um maior risco de geração de gotículas;
 - Presença de secreções visíveis na bacia – a presença de secreções visíveis na bacia do lavatório aumento o risco de contaminação;
- Vaso sanitário
 - Vazão de água – será classificada em baixa, média ou alta, a partir da observação. Quanto maior a vazão da água, maior o risco;
 - Pressão da água – será classificada em baixa, média ou alta, a partir da observação. Quanto maior a pressão da água, maior o risco de aerossolização;
 - Nível de água no vaso sanitário – será classificado em baixo, médio ou alto, a partir da observação. Quanto maior o nível d'água, maior o risco de contato com gotículas;
 - Presença de excretas no vaso sanitário – a presença de excretas (urina ou fezes) no vaso sanitário aumenta o risco de contaminação;

4.1.2 ***Ergonomic Workplace Analysis (EWA)***

A ergonomia é a disciplina científica que estuda as interações entre humanos e seu ambiente circundante (ROZLINA et al., 2012). Ela estuda as interações do homem com outros elementos do sistema, com o objetivo de melhorar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema, aplicando-se ao projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e trabalhos, com o objetivo de melhorar a

segurança, saúde, conforto e eficiência durante o trabalho (DUL; WEERDMEESTER, 2004 apud JÚNIOR et al., 2015).

Uma atividade desempenhada por um fator humano é um sistema orientado a objetivos. Como um sistema, a tarefa consiste em ações cognitivas e motoras, operações e processos necessários para alcançar um objetivo. A complexidade da tarefa é determinada pelo número de elementos no sistema, a especificidade de cada elemento, a maneira como eles interagem entre si e os modos nos quais o sistema pode funcionar (BEDNY et al., 2014). A disciplina da ergonomia tem o homem como foco principal. As condições inseguras, insalubridade, desconforto e ineficiência são eliminados pela sua adaptação às capacidades físicas e psicológicas dos homens (JÚNIOR et al., 2015).

Segundo ILO e IEA (2021), os princípios para o projeto e gerenciamento de fatores humanos/ergonômicos de sistemas de trabalho são:

- Princípio 1 - Garantir a segurança, a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, sendo essa uma prioridade.
- Princípio 2 - Projetar e gerenciar sistemas de trabalho para garantir o alinhamento organizacional, avaliação, aprendizagem e sustentabilidade.
- Princípio 3 - Criar um ambiente de trabalho seguro, saudável e sustentável a partir de uma perspectiva holística, compreendendo e suprimindo as necessidades humanas.
- Princípio 4 - Considerar diferenças individuais e contingências organizacionais no projeto de sistemas de trabalho.
- Princípio 5 - Fazer uso do conhecimento coletivo, multidisciplinar e com plena participação dos trabalhadores, detectando problemas e criando soluções.

A EWA tem grande destaque nos setores produtivos, tendo como objetivo principal a detecção, o mais cedo possível, de posturas de trabalho inadequadas e movimentos repetitivos, possibilitando assim a definição de ações corretivas que irão desde a remediação do movimento ou modificação do trabalho até, em

casos mais graves, o redesenho ou reconstrução do local de trabalho. Alguns dos métodos de coleta de dados existentes para avaliação do risco ergonômico são: auto avaliação, observação direta, medição direta, visão computacional e visualização 3D (WANG; HAN; LI, 2021)

A EWA também leva em consideração a influência de componentes físicos do ambiente de trabalho e os impactos das mudanças nas configurações do local de trabalho oriundas da inclusão de novas tecnologias e da transformação do ambiente que impactará nas posturas dos trabalhadores, processos desempenhados, além das ferramentas e equipamentos utilizados por eles (JATOBÁ et al., 2016).

Segundo OSHA (2022), uma análise ergonômica de risco se concentra na relação entre o trabalhador, a tarefa, as ferramentas e o ambiente de trabalho. Dessa forma, observações das condições do local de trabalho e processos de trabalho, análises ergonômicas do trabalho, pesquisas e entrevistas com trabalhadores são métodos proativos comuns para identificar riscos relacionados à ergonomia. Analisando criticamente as operações do local de trabalho, fatores de risco poderão ser identificados e eliminados ou controlados o mais cedo possível.

É importante ressaltar que a ausência de uma análise ergonômica pode levar a lesões e riscos como entorses de articulações, distensões musculares e distúrbios que são causados por posturas inadequadas, transporte de cargas pesadas e movimentos repetitivos (KULKARNI; DEVALKAR, 2018). Todavia, a compreensão das atividades de trabalho usando a EWA permite investigar não somente distúrbios físicos mas também implicações sociocognitivas associadas ao trabalho (JATOBÁ et al., 2016).

A pesquisa na literatura mostrou que a disciplina da ergonomia teve grande destaque na pandemia no que diz respeito ao trabalho e ensino remoto, que teve ampla adesão pelas instituições em todo o mundo durante esse período e, em alguns casos, acabou sendo mantido integralmente ou de forma parcial, em virtude de suas vantagens. Todavia, o estudo de Ayyildiz e Gumus (2021), aborda a questão das dificuldades antropométricas, ambientais e psicossociais

enfrentadas por alunos durante o processo de ensino a distância, apresentando os principais fatores que afetam as condições ergonômicas de estudantes universitários e propondo uma lista de verificação para o aprimoramento das estratégias ergonômicas voltadas para o ensino a distância.

4.1.2.1 Aplicação da EWA

Com base na revisão da literatura foi possível concluir que a EWA é desenvolvida com base nos seguintes aspectos: características físicas e condições ambientais do espaço, elementos que compõem esse espaço e a forma como esses estão dispostos, procedimentos e objetivos relacionados ao desempenho de uma tarefa, equipamentos ou utensílios utilizados e variabilidade humana sobre a forma de desempenhá-la. Esses aspectos podem ser resumidos em três principais: ambiente, processo e pessoas. Nos próximos subcapítulos serão apresentados os resultados obtidos para cada um dos três aspectos citados.

4.1.2.1.1 Avaliação do Ambiente

A avaliação do ambiente, em sua maior parte, ocorreu a partir da aplicação da metodologia FMEA, que permitiu a identificação dos fatores de risco apresentados no capítulo anterior. Todavia, algumas características ambientais não foram contempladas na aplicação da metodologia FMEA e, dada sua importância na EWA, serão avaliadas como novos fatores de risco. São elas:

- Área do espaço – a área (A) do espaço foi classificada em 3 categorias: $A < 2\text{ m}^2$; $2\text{ m}^2 \leq A < 3\text{ m}^2$ e $A \geq 3\text{ m}^2$. Quanto maior a área, menor o risco, em função de uma maior capacidade de dispersão dos patógenos no ambiente, reduzindo sua concentração.
- Materiais das superfícies – como visto anteriormente, as superfícies dos sanitários e banheiros são compostas por materiais não porosos, o que, na maioria dos casos, confere maior estabilidade aos patógenos. Dessa forma, essas superfícies – maçaneta, vaso sanitário, descarga, torneira, *dispenser* serão classificadas como de alta criticidade, conferindo risco alto.

seguida, um novo contato, de um ou dois dedos, poderá ocorrer, caso o vaso sanitário esteja com a tampa abaixada. Estando a tampa erguida, o usuário utilizará o vaso sanitário. Nesse momento, o usuário poderá, a depender do gênero e dos seus hábitos pessoais, se sentar ou não sobre o assento do vaso sanitário. Em caso positivo, um novo contato, de maior área, poderá ocorrer. Nesse ponto, a idade do usuário é um fator relevante, tendo em vista que usuários de idade mais avançada possuem um menor equilíbrio motor e o contato poderá ocorrer, ainda que não intencional. É sabido que alguns usuários possuem o hábito de higienizar o assento do vaso sanitário ou utilizar algum tipo de protetor sanitário descartável, quando disponível, ou até mesmo improvisar uma cobertura com papel higiênico para o assento.

Em seguida, o mais comum é que o usuário realize a sua higiene pessoal. Nesse momento, o usuário pode, ainda que acidentalmente, entrar em contato com a genitália ou com resíduos de urina ou fezes. Posteriormente, o usuário descarta o resíduo gerado – em geral, papel com resquícios de urina ou fezes ou, com menor frequência, absorvente íntimo ou fraldas – na lixeira, podendo a mesma ter tampa ou não. Caso a lixeira não possua tampa, o potencial de contaminação poderá ser maior, tendo em vista que os resíduos estarão expostos no ar, gerando mau cheiro e atração de vetores. Caso a lixeira possua tampa, poderá ter acionamento automático ou não. Na primeira hipótese não haverá novo contato. Todavia, na segunda hipótese poderá, no melhor caso, haver contato com os pés e, no pior caso, com as mãos – se o contato envolverá a mão inteira ou apenas um ou alguns dedos dependerá do modelo da lixeira. Nesse ponto, é importante ressaltar que o descarte do lixo gerado pode ocorrer de forma inadequada. O lixo pode ser descartado no próprio vaso sanitário ou mesmo no chão, não sendo esses hábitos incomuns.

Posteriormente, é provável que o usuário acione a descarga. Destaca-se aqui que alguns usuários poderão acionar a descarga antes de realizar a higiene pessoal, mesmo que ainda estejam sobre o assento do vaso sanitário, o que poderá aumentar ou diminuir o risco de contaminação, a depender do tipo de patógeno. Outro fator interessante é que alguns usuários possuem o hábito de abaixar a tampa do vaso sanitário antes de acionar a descarga, o que seria uma

medida preventiva ao passo que limita a dispersão de patógenos no ar. Outros usuários, por sua vez, sequer possuem o hábito de dar descarga. Além desses fatores, também se deve atentar ao tipo de dispositivo de descarga – se o mesmo possui acionamento automático ou não. Em caso negativo, haverá novo contato das mãos, geralmente restrito a um dedo. Caso o usuário tenha defecado, pode ser necessário o acionamento da descarga mais de uma vez.

Na sequência, o usuário tende a realizar a higienização das mãos. Para tal, faz o acionamento do *dispenser* de sabonete, que poderá ser automático ou não – se não automático esse acionamento geralmente envolve o contato de apenas um dedo. Posteriormente, ensaboa as mãos e aciona a torneira para enxaguá-las. Assim como os demais, esse acionamento também poderá ou não ser automático. Em caso negativo, a área de contato com as mãos variará com o modelo da torneira, sendo o mais comum a instalação de torneiras pressionáveis, cujo acionamento pode ocorrer com um único dedo ou com a palma da mão, que possuem desligamento automático. Todavia, caso a torneira seja mecânica, o contato será aumentado substancialmente, pois haverá toque tanto para a abertura como para o fechamento. É importante observar que o processo de higienização das mãos, assim como os demais, poderá variar de usuário para usuário, a depender de seus hábitos. Alguns usuários sequer realizam a higiene das mãos, outros não ensaboam as mesmas e outros acionam a torneira mais de duas vezes no processo.

Ainda na torneira, o usuário poderá realizar outros procedimentos além da higienização das mãos, necessitando de novos acionamentos. Muitos usuários costumam lavar o rosto, assuar o nariz ou expectorar secreções. Como visto na revisão da literatura, o jato de água da torneira, ao bater no fundo da bacia do lavatório, pode ocasionar no respingo desses resíduos nas áreas próximas ou mesmo na sua aerossolização, aumentando o potencial de contaminação.

Posteriormente, o usuário realizará a secagem das mãos, que poderá ocorrer com papel ou com ar aquecido. Geralmente, nenhuma dessas formas envolve contato com superfície. Todavia, a secagem com ar aquecido poderá favorecer a dispersão de patógenos, aumentando o potencial de contaminação. Embora, em virtude disso, a secagem com papel pareça mais adequada, é importante

lembrar que haverá novo acionamento da lixeira para descarte do lixo gerado, ou seja, novo contato. É importante ressaltar também que alguns usuários possuem o hábito de secar as mãos na roupa – que poderá estar contaminada – ou simplesmente não secá-las, apenas removendo o excesso de água com o movimento das mãos – o que pode deixar o chão molhado, causando risco de acidentes.

Finalmente, o usuário, após ter realizado todos os procedimentos citados, se dirige a porta para deixar o sanitário. Novamente, ele toca a maçaneta para abrir a porta, podendo ou não tocá-la novamente para fechar a porta.

4.1.2.1.3 Avaliação das Pessoas

O mapeamento do processo de utilização do sanitário por um usuário apresentado anteriormente possibilitou a identificação dos fatores de risco relacionados ao comportamento humano listados a seguir.

- Frequência de idas ao sanitário – a frequência de idas ao sanitário foi classificada em três faixas: até 2 vezes por dia; 3 ou 4 vezes por dia; e mais de 4 vezes por dia. Quanto maior a frequência, maior o risco de contaminação;
- Número de toques – o número total de toques nas superfícies do ambiente analisado foi classificado em três categorias: menos de 7 toques; entre 7 e 10 toques; e mais de 10 toques. Quanto maior o número de toques, maior o risco.
- Tempo total entre a entrada e saída do usuário – o tempo total gasto pelo usuário entre a entrada e saída do sanitário foi classificado em três faixas: menos de 5 minutos; entre 5 e 7 minutos; e mais de 7 minutos. Quanto maior o tempo que o usuário passa no ambiente, maior o risco de contaminação;
- Utilização do assento sanitário – o usuário, a depender do seu padrão de comportamento, possui três alternativas: não sentar-se sobre o assento de forma alguma; sentar-se sobre o assento higienizando-o previamente ou utilizando um protetor descartável; ou sentar-se sobre o assento, sem

adoção de nenhuma medida preventiva, sendo essa última a atitude de maior risco de contaminação;

- Tampa do vaso sanitário – o usuário, a depender do seu padrão de comportamento, possui duas alternativas: abaixar a tampa do sanitário antes de acionar a descarga ou não abaixá-la, sendo essa última alternativa a de maior risco de contaminação;
- Higienização das mãos – o usuário foi questionado quanto aos seus hábitos de higiene das mãos que foram classificados segundo o tempo gasto nesse processo – 10, 20 ou 30 segundos. Quanto maior o tempo gasto na atividade inferiu-se uma melhor descontaminação das mãos, conferindo menor risco.

4.1.3 ***Fault Tree Analysis (FTA)***






O método da *Fault Tree Analysis (FTA)* ou Análise de Árvore de Falhas faz uso de diagramas lógicos visando análise dedutiva de cima para baixo, combinando uma série de eventos básicos e intermediários que levam a um evento principal – geralmente a falha indesejada. É amplamente utilizado em engenharia de segurança e confiabilidade como uma ferramenta poderosa para destacar relações lógicas entre possível falha ou incidente e suas causas subjacentes correspondentes, propondo ao final medidas para prevenir a falha ou incidente (Wang, 2018).

No Quadro **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentadas as representações gráficas utilizadas na FTA. Os eventos básicos de uma árvore de falhas são os eventos para os quais as probabilidades terão que ser fornecidas se a árvore de falhas for usada para calcular a probabilidade do evento principal. Um evento intermediário é um evento de falha que ocorre devido a uma ou mais causas antecedentes agindo através de portas lógicas. Existem dois tipos básicos de portas lógicas: a porta “ou” e a porta “e”. A porta “ou” é utilizada para mostrar que o evento de saída ocorre somente se um ou mais eventos de entrada ocorrem, ao passo que a porta “e” é utilizada para mostrar que a falha de saída ocorre somente se todas as falhas de entrada ocorrem (NRC, 1981). Uma porta “ou” que leva a um evento superior indica que

a probabilidade do evento superior é a soma das probabilidades dos nós do nível inferior, enquanto que uma porta “e”, por sua vez, indica que a probabilidade do evento superior é o produto das probabilidades dos nós do nível inferior (ISODA et al., 2012).

Em contraste com a porta “ou”, a porta “e” especifica uma relação causal entre as entradas e a saída, ou seja, as falhas de entrada representam coletivamente a causa da falha de saída. Dessa forma, uma maneira de detectar árvores de falhas desenhadas incorretamente é procurar casos em que uma causalidade passa por uma porta “ou”. Esta é uma indicação de uma porta “e” ausente (NRC, 1981).

Quadro 5 – Representações gráficas da FTA

Termo	Símbolo	Definição
Evento topo		O evento alvo indesejado
Evento intermediário		O resultado de uma combinação lógica de eventos de baixo nível (ex. o evento X e o evento Y ocorrem e resultam no evento intermediário Z)
Evento básico		Um evento mais baixo que não pode mais ser desenvolvido
<u>Porta</u>		Conector usado para unir eventos de baixo nível que estão relacionados a um evento de nível acima
Porta E		Para que o evento de maior nível ocorra, todos os eventos de baixo nível devem ocorrer
Porta OU		A ocorrência de qualquer evento inferior implica na ocorrência do evento superior

Fonte: Liu et al. (2016)

Na Figura 5 é apresentado um exemplo de uma árvore de falhas. NRC (1981) apresenta ainda algumas regras básicas para a construção da FTA:

- Ao inserir as falhas nas caixas de evento, essas devem ser descritas precisamente, identificando qual é a falha e quando ela ocorre.
- Se o evento de falha for classificado como "estado do componente", adicione uma porta “ou” deve ser inserida abaixo do evento. Se o evento de falha for classificado como "estado do sistema", procure a causa mínima necessária e suficiente. Um evento de falha de "estado do sistema" pode exigir uma porta “e” ou “ou”, ou possivelmente nenhuma porta.

- Portas “e” ou “ou” não devem ser conectadas diretamente a outras portas.

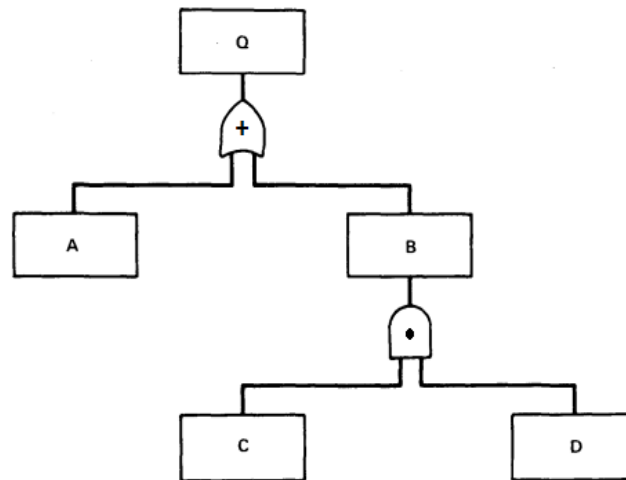


Figura 5 – Exemplificação de uma FTA simples
Fonte: Adaptado de NRC (1981)

Apesar da FTA apresentar grande potencial para avaliação de risco e proposição de medidas voltadas para o controle do surto de doenças, ainda existem poucos artigos que demonstram a aplicação da metodologia no controle de doenças infecciosas.

Isoda et al. (2012) desenvolveram uma estrutura genérica de árvore de falhas para o controle de um surto de febre aftosa com base nas deficiências de controle discutidas em artigos revisados por pares. Os autores concluem que a FTA é uma ferramenta complementar para a análise sistemática, prospectiva ou retrospectiva de eventos de surtos, dando suporte para a avaliação e gestão dos riscos relacionados com as doenças contagiosas e para a melhoria e aperfeiçoamento das medidas de controle.

Portarapillo e Benedetto (2021) propõem em seu estudo uma metodologia para realizar a análise de risco de propagação do vírus e, para avaliar a probabilidade de transmissão desenvolveu uma Árvore de Falhas que incluiu todas as formas de transmissão, assumindo como evento topo a infecção pela COVID-19, conforme Figura 6. A partir dos resultados da análise da árvore de falhas e das simulações computacionais de dinâmica de fluidos o estudo concluiu que a rota de transmissão direta é a principal via de transmissão do vírus.

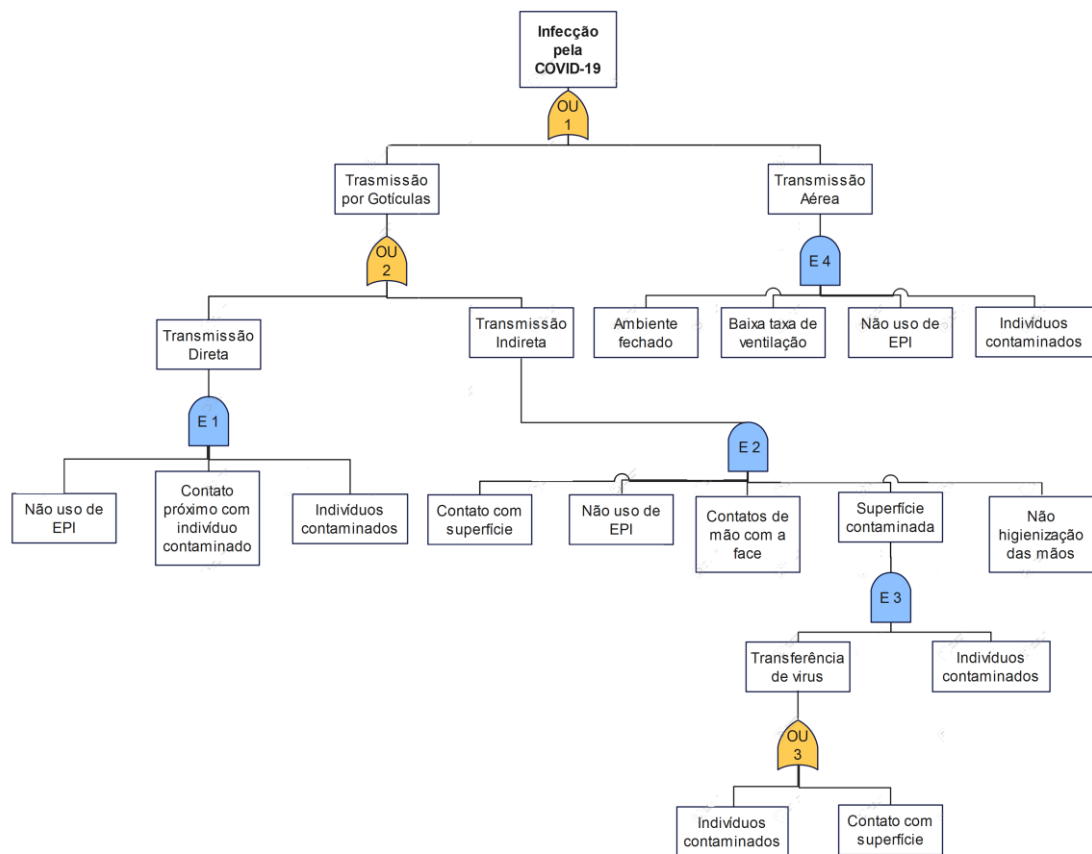


Figura 6 – FTA da COVID-19
 Fonte: Adaptado de Portarapillo e Benedetto (2021)

4.1.3.1 Aplicação da FTA

Como mencionado anteriormente, a FTA foi aplicada para o componente “rotas de transmissão” do tripé de riscos que fundamenta a metodologia do presente trabalho. A revisão bibliográfica realizada sobre o Sars-CoV-2 permitiu a identificação das principais rotas de transmissão relacionadas ao ambiente de um sanitário. Dessa forma, uma FTA contemplando todas essas rotas de

transmissão foi elaborada, conforme pode ser visto na Figuras abaixo.

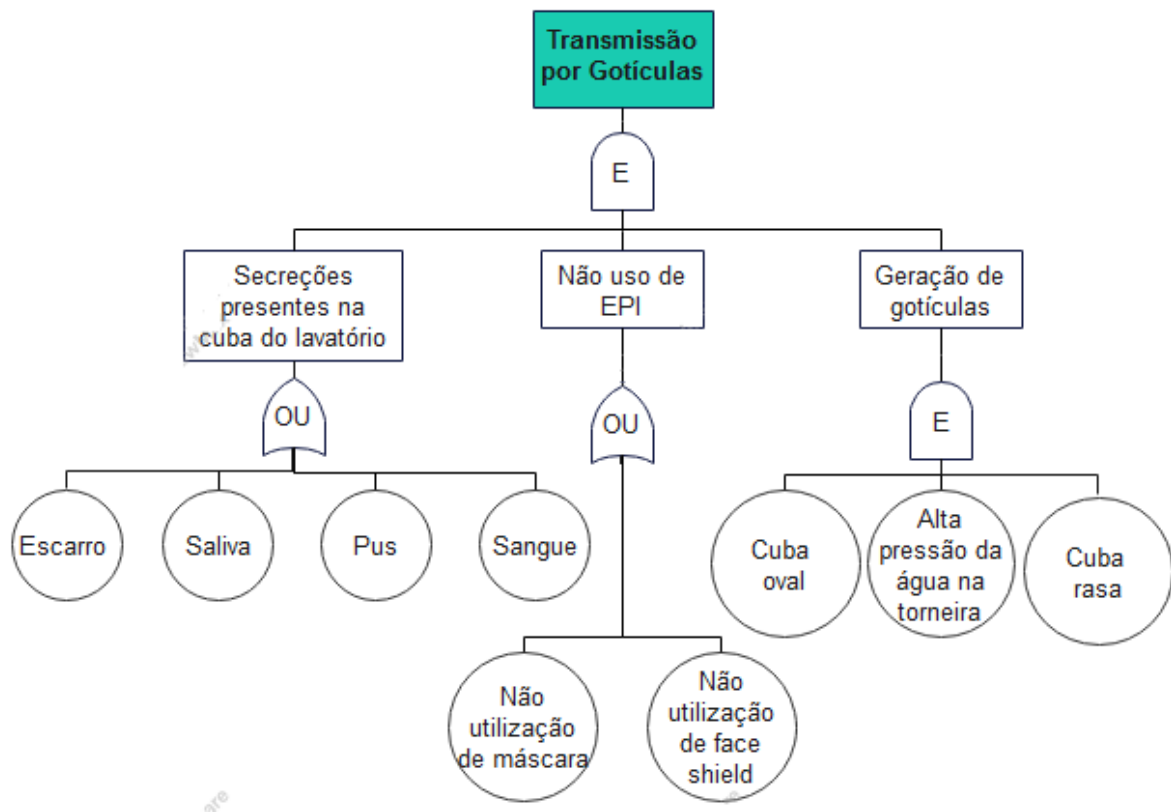


Figura 7 – FTA para a rota de transmissão por gotículas
Fonte: a autora

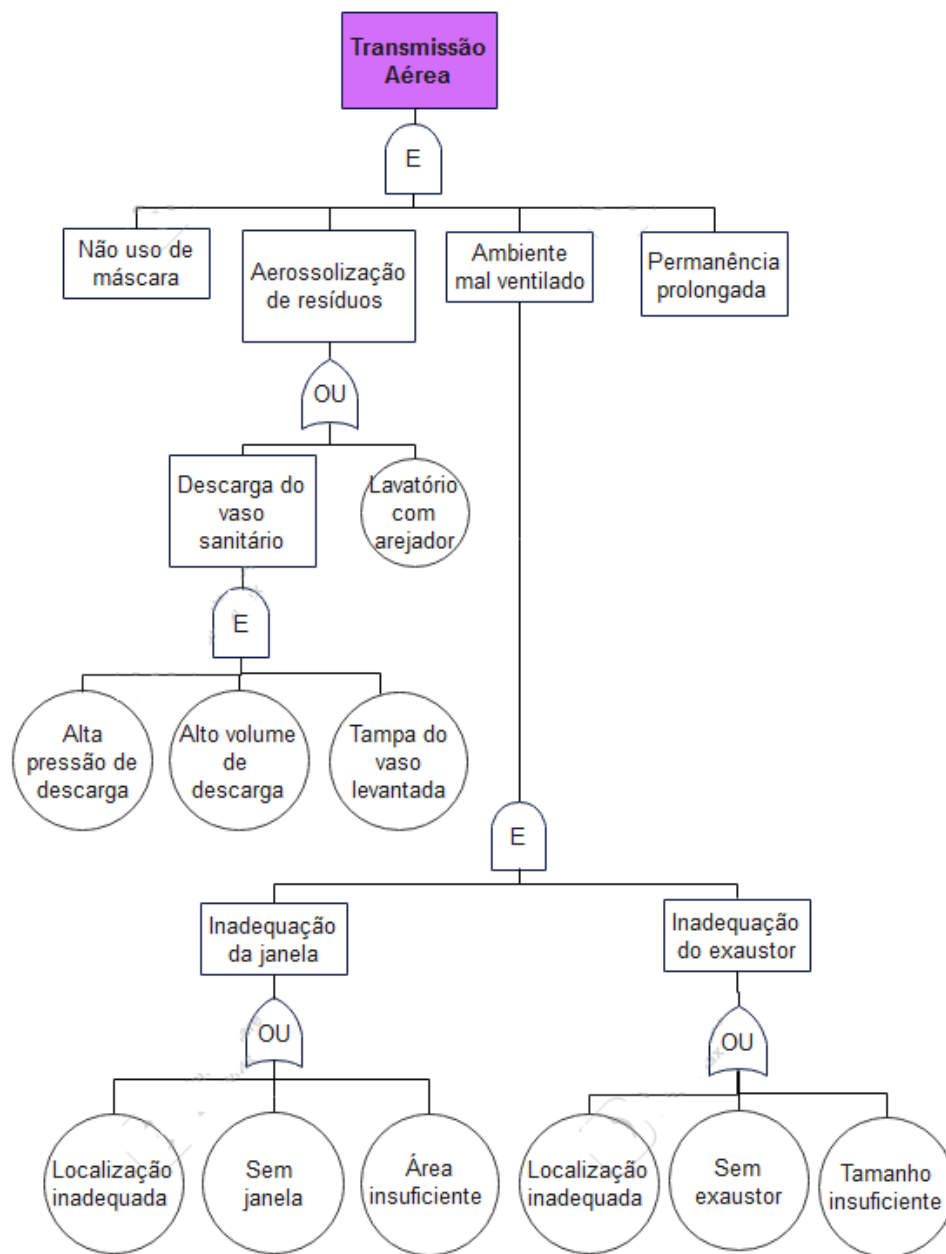


Figura 8 – FTA para a rota de transmissão aérea
 Fonte: a autora

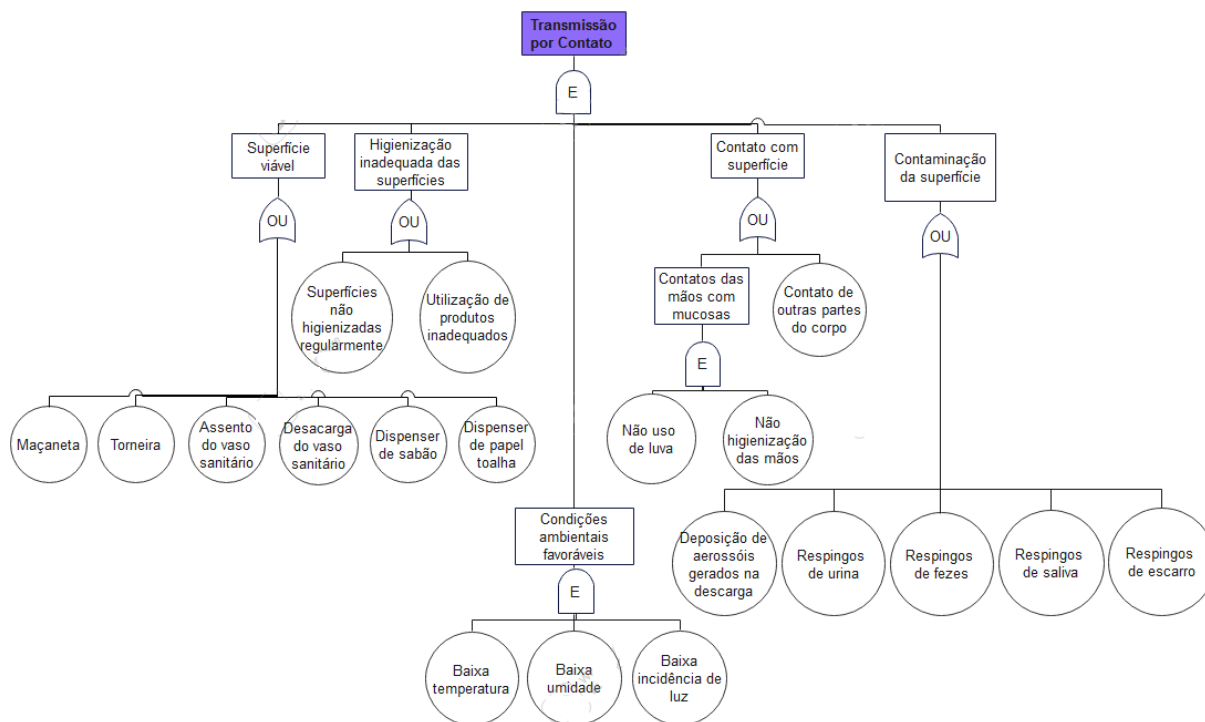


Figura 9 – FTA para a rota de transmissão por contato
Fonte: a autora

4.1.4 Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para Priorização das Rotas de Transmissão

Para proceder com a avaliação dos riscos, foi necessária a escolha de uma metodologia que permitisse a atribuição de peso às rotas de transmissão do SARS-COV-2 identificadas anteriormente pela FTA. Dessa forma, optou-se pela adoção da metodologia AHP para essa finalidade, por ser uma técnica bastante difundida de análise multicritério e possuir ampla gama de aplicações.

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido em 1971 por Thomas Saaty, é uma teoria geral de medição utilizada para derivar escalas de proporção de comparações pareadas discretas e contínuas. O AHP encontrou suas aplicações mais amplas na tomada de decisão multicritério, planejamento e alocação de recursos, e na resolução de conflitos (SAATY, 2008).

O método consiste na construção de matrizes de comparação par a par. Para realizar tais comparações, é necessária uma escala de números que indique quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre outro elemento em relação ao critério ou propriedade com respeito à qual são

comparados. Dessa forma, ao considerar dois elementos, j no lado esquerdo da matriz e k no topo dessa, é atribuída uma importância, conforme a escala fundamental do Quadro 6. Assim, o valor recíproco é inserido automaticamente para a transposição na matriz (SAATY, 2008).

Quadro 6 – Escala fundamental de julgamentos

ESCALA VERBAL	ESCALA NUMÉRICA
Igual preferência (importância)	1
Preferência (importância) moderada	3
Preferência (importância) forte	5
Preferência (importância) muito forte	7
Preferência (importância) extrema	9
2, 4, 6 e 8 estão associados a julgamentos intermediários	

Fonte: Saaty (2008)

Tendo realizado todas as avaliações, deve-se proceder com a normalização da matriz – igualando-se a soma dos elementos de cada coluna a 1. Dessa forma, sendo n o número de alternativas, cada elemento da Matriz Comparativa Normalizada é dado pela Equação 2:

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{i=1}^n a_{ik}} \quad \text{EQ. (2)}$$

onde \bar{a}_{jk} é o elemento da Matriz Comparativa Normalizada que compara o critério j ao critério k.

Em seguida, o Vetor de Prioridade w de dimensão n, autovetor da matriz denominado Vetor de Eigen, deverá ser encontrado para cada critério calculando-se a média aritmética de cada linha da Matriz Comparativa Normalizada, segundo a Equação 3:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{a}_{ji}}{n} \quad \text{EQ. (3)}$$

Posteriormente, deve-se proceder com o cálculo do número principal de Eigen ($\lambda_{\text{máx}}$), encontrado a média ponderada de cada elemento do Vetor de Eigen, onde os pesos equivalem ao somatório de cada coluna da Matriz Comparativa não normalizada.

Finalmente, Saaty (2008) propõe uma técnica para a avaliação da consistência em uma matriz de comparação de pares, traduzida pela Equação 4 do índice de consistência (Ic):

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad \text{EQ. (4)}$$

Onde:

n é a ordem da matriz;

$\lambda_{m\acute{a}x}$ é o maior autovalor da matriz ou número principal de Eigen

SAATY (2008) propõe ainda o emprego da razão de consistência (RC) que permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos, segundo a Equação 5:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{EQ. (5)}$$

Onde:

IC - Índice de consistência;

IR - Índice de consistência para uma matriz recíproca.

O índice de consistência para uma matriz recíproca (IR), com elementos não negativos e gerada de forma randômica, pode ser obtido a partir do Quadro 7:

Quadro 7 – Índice de consistência para uma matriz recíproca

ORDEM DA MATRIZ	VALORES DE IR
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

Fonte: Saaty (2008)

Finalmente, os julgamentos são considerados consistentes quando $RC \leq 0,1$.

4.1.5 Aplicação do Tripé de Riscos

As metodologias utilizadas para avaliação dos fatores ambiental, humano e de transmissão que compõem o Tripé de Riscos sugerido por este trabalho – FMEA, EWA e FTA, consecutivamente – proporcionaram a identificação de indicadores relevantes para a avaliação do risco de disseminação de patógenos em um sanitário individual de uso comum localizado numa unidade de saúde.

Dessa forma, no Quadro 8 são apresentados todos os indicadores identificados, assim como suas possíveis gradações e pontuação de risco atribuída a cada gradação. Os indicadores ambientais serão obtidos a partir de medições e observações, enquanto que os indicadores humanos serão obtidos por meio de observações do comportamento humano. Ademais, as rotas de transmissão associadas a cada indicador – transmissão aérea (TA), transmissão por contato (TC), transmissão por gotículas ou aérea (TGA), transmissão por gotículas (TG), transmissão por contato ou aérea (TCA) e transmissão por gotículas, aérea e contato (TGAC) – também podem ser vistas no Quadro 8.

Quadro 8 - Indicadores, classificação de risco e rotas de transmissão associadas

TIP O	INDICADOR	RISCO = 3	RISCO = 2	RISCO = 1	ROTA DE TRANSMISSÃO
INDICADORES AMBIENTAIS	Área do espaço	< 2 m ²	2 m ² =< Área =< 3 m ²	> 3 m ²	TA
	Intensidade de Luz Natural	Baixa	Média	Alta	TC
	Janela	Não Possui	---	Possui	TA
	Área da janela	Pequena (40x40cm)	Média (50x50cm)	Grande (60x60cm)	TA
	Altura da janela	Abaixo de 1,7m do piso	---	Acima de 1,7m do piso	TA
	Exaustor	Não Possui ou não operante	---	Possui e está operante	TA
	Localização do exaustor	Abaixo de 2,1m do piso	---	Acima de 2,1m do piso	TA
	Dispenser de Sabão	Não possui, não funciona ou está vazio	---	Possui e tem sabão	TC
	Pressão da água na torneira	Forte	Média	Baixa	TGA
	Nível d'água na bacia do lavatório	Alto	Médio	Baixo ou não existe	TGA
	Arejador	Possui	---	Não possui	TGA
	Profundidade da bacia do lavatório	Rasa (140/150mm)	Média (150/160mm)	Funda (>160mm)	TGA
	Gotejamento na torneira	Possui	---	Não possui	TGA
	Design da bacia	Fundo chato	---	Fundo côncavo	TGA
	Presença de secreções visíveis na bacia do lavatório	Possui	---	Não possui	TGA
	Vazão de água da descarga	Alta	Média	Baixa	TCA
	Pressão da água da descarga	Alta	Média	Baixa	TCA
	Nível d'água no vaso sanitário	Alto	Médio	Baixo	TCA
	Presença de excretas no vaso sanitário	Possui	---	Não possui	TCA
	Presença de sujeira no assento do vaso sanitário	Possui	---	Não possui	TC

	Material da maçaneta	Alta criticidade	Média criticidade	Baixa criticidade	TC
	Material do vaso sanitário	Alta criticidade	Média criticidade	Baixa criticidade	TC
	Material da descarga	Alta criticidade	Média criticidade	Baixa criticidade	TC
	Material da torneira	Alta criticidade	Média criticidade	Baixa criticidade	TC
	Material do <i>dispenser</i> de sabão	Alta criticidade	Média criticidade	Baixa criticidade	TC
	Acionamento da descarga	Mãos inteiras ou mais de um dedo	Um dedo	Sem toque	TC
	Acionamento da torneira	Mãos inteiras ou mais de um dedo	Um dedo	Sem toque	TC
	Acionamento do <i>dispenser</i> de sabão	Mãos inteiras ou mais de um dedo	Um dedo	Sem toque	TC
	Condições gerais de limpeza	Ruim	Razoável	Boa	TC
INDICADORES HUMANOS	Nº de toques	Mais de 10	Entre 7 e 10	Menos de 7 ou utiliza luvas	TC
	Tempo total no banheiro	T > 7min	5min < T < 7min	T < 5min	TGAC
	Frequência de idas ao sanitário	mais de 4x por dia	3 ou 4x por dia	Até 2x por dia	TGAC
	Utilização do assento	Sim, sem proteção	Sim, com medida preventiva	Não utiliza	TC
	Tampa do vaso sanitário	Não abaixa	---	Abaixa	TA
	Uso de máscara	Não	---	Sim	TA
	Uso de luva	Não	---	Sim	TC
	Higiene das mãos	10 segundos	20 segundos	30 segundos	TC

Fonte: a autora.

A média ponderada deverá ser calculada, conforme Equação 13. O valor calculado definirá o *risk score*.

$$RiskScore = \frac{\sum_{i=1}^n p_i * x_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad \text{EQ. (13)}$$

Onde:

x_i = pontuação atribuída ao indicador i , podendo ser 1, 2 ou 3;

p_i = peso do indicador i relacionado à rota de transmissão, obtido pela técnica AHP

Finalmente, o *Risk Score* encontrado deverá ser classificado da seguinte forma:

- Se $NR_G < 1,5$ → risco baixo
- Se $1,5 \leq NR_G < 2,5$ → risco médio
- Se $NR_G \geq 2,5$ → risco alto

4.1.5.1 Aplicação da AHP para a Ponderação das Rotas de Transmissão da COVID-19 em Sanitários

As rotas de transmissão relacionadas a COVID-19 e associadas aos indicadores identificados no Quadro **Erro! Fonte de referência não encontrada.** totalizaram seis rotas:

- Transmissão por Gotículas (TG)
- Transmissão Aérea (TA)
- Transmissão por Contato (TC)
- Transmissão por Gotículas e Aérea (TGA)
- Transmissão por Contato e Aérea (TCA)
- Transmissão por Gotículas, Aérea e Contato (TGAC)

Dessa forma, a AHP derivou-se de uma matriz de comparação de pares 6x6. Essa matriz foi preenchida utilizando os índices da Escala Fundamental de Julgamentos do Quadro **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Antes de iniciar o preenchimento da matriz foram necessárias algumas considerações. Primeiramente, com base na pesquisa bibliográfica, definiu-se que a principal rota de transmissão do vírus SARS-CoV-2 é a transmissão por gotículas, seguida pela transmissão aérea e pela até então menos relevante transmissão por contato. Dessa forma, seguindo os princípios da Escala Fundamental de Julgamentos, considerou-se que a Transmissão por Gotículas é 3 vezes mais importante do que a Transmissão Aérea que, por sua vez, é 3 vezes mais importante do que a Transmissão por Contato.

$$TG=3TA \quad \text{EQ. (6)}$$

$$TA=3TC \quad \text{EQ. (7)}$$

Assim, por álgebra simples, temos que:

$$TG=3(3TC)$$

$$TG=9TC \quad \text{EQ. (8)}$$

Ou seja, a Transmissão por Gotículas seria 9 vezes mais importante do que a Transmissão por Contato. Na sequência foram estudadas as relações entre os demais atributos da matriz. A Transmissão por Gotículas e Aérea (TGA) está associada mutuamente aos componentes TG e TA. Ou seja:

$$TGA = TG + TA$$

Aplicando a Equação 6, então temos:

$$TGA = 3TA + TA = 4TA \quad \text{EQ. (9)}$$

Aplicando a Equação 7, temos:

$$TGA = 4(3TC) = 12TC$$

Aplicando a Equação 8 temos que:

$$TC = TG/9 \quad \text{EQ. (10)}$$

Finalmente, conclui-se então que:

$$TGA = 12TC = 12TG/9 \approx 1,33TG \approx 2TG$$

Da mesma forma, a Transmissão por Contato e Aérea (TCA) está associada mutuamente aos componentes TC e TA, ou seja:

$$TCA = TC + TA$$

Refazendo a Equação 7 temos que:

$$TC = TA/3$$

Então, realizando as devidas substituições, temos que:

$$TCA = TA/3 + TA = 4TA/3 \approx 1,33TA \approx 2TA \quad \text{EQ. (11)}$$

Aplicando novamente a Equação 7, temos que:

$$TCA \approx 2TA \approx 2(3TC) \approx 6TC$$

E, finalmente, aplicando a Equação 10, temos que:

$$TCA \approx 6TC \approx 6TG/9 \approx 0,66TG \approx 0,5TG \approx TG/2$$

Da mesma forma, a Transmissão por Gotículas, Aérea e Contato (TGAC) está associada mutuamente aos componentes TG, TA e TC, ou seja:

$$TGAC = TG + TA + TC$$

Aplicando as Equações 6 e 7, temos que:

$$TGAC = 3TA + TA + TA/3 = 13TA/3 \approx 4,33TA \approx 5TA \quad \text{EQ. (12)}$$

Aplicando a Equação 6, temos que:

$$TGAC \approx 5TA \approx 5TG/3 \approx 1,66TG \approx 2TG$$

Aplicando a Equação 8, temos que:

$$TGAC \approx 2TG \approx 18TC$$

Todavia, como o valor máximo da Escala Fundamental de Julgamentos é 9, será considerado que:

$$TGAC = 9TC$$

Finalmente, é preciso estabelecer as relações entre os atributos da matriz que envolvem duas ou mais rotas: TGA, TCA e TGAC.

Como TGA = 4TA (Equação 9) e TCA = 2TA (Equação 11), temos que:

$$TGA = 2TCA$$

Como TGAC = 5TA (Equação 12), considerou-se que:

$$TGAC = 1,25TGA \approx 2TGA$$

$$TGAC = 2,5TCA \approx 3TCA$$

Dessa forma, chegou-se ao resultado mostrado no Quadro 9:

Quadro 9 – Matriz preenchida com os julgamentos

AHP_COVID-19	TA	TC	TGA	TG	TCA	TGAC
TA	1	3	¼	1/3	½	1/5
TC	1/3	1	1/9	1/9	1/6	1/9
TGA	4	9	1	2	2	½
TG	3	9	½	1	2	½
TCA	2	6	½	½	1	1/3

AHP_COVID-19	TA	TC	TGA	TG	TCA	TGAC
TGAC	5	9	2	2	3	1

Fonte: a autora.

Em seguida, procedeu-se com a normalização da matriz original – dividindo-se cada item da coluna pela soma total da coluna. No Quadro 10 visualiza-se a matriz normalizada.

Quadro 10 – Matriz normalizada

MATRIZ NORMALIZADA	TA	TC	TGA	TG	TCA	TGAC
Transmissão Aérea	0,0652	0,0811	0,0573	0,0561	0,0577	0,0756
Transmissão por Contato	0,0217	0,0270	0,0255	0,0187	0,0192	0,0420
Transmissão por Gotículas e Aérea	0,2609	0,2432	0,2293	0,3364	0,2308	0,1891
Transmissão por Gotículas	0,1957	0,2432	0,1146	0,1682	0,2308	0,1891
Transmissão por Contato e Aérea	0,1304	0,1622	0,1146	0,0841	0,1154	0,1261
Transmissão por Gotículas, Aérea e Contato	0,3261	0,2432	0,4586	0,3364	0,3462	0,3782

Fonte: a autora.

Posteriormente, foi obtido o autovetor da matriz normalizada – calculando-se a média aritmética de cada linha – obtendo-se assim os índices de priorização. Em seguida, os componentes da matriz original não normalizada foram multiplicados pelo índice de priorização respectivo da coluna, obtendo o resultado apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Matriz normalizada multiplicada pelo índice de priorização

MATRIZ NÃO NORMALIZADA * IP	0,0655	0,0257	0,2483	0,1903	0,1221	0,3481
AHP_COVID-19	TA	TC	TGA	TG	TCA	TGAC
TA	0,0655	0,0771	0,0621	0,0634	0,0611	0,0696
TC	0,0218	0,0257	0,0276	0,0211	0,0204	0,0387
TGA	0,2620	0,2313	0,2483	0,3805	0,2443	0,1741
TG	0,1965	0,2313	0,1241	0,1903	0,2443	0,1741
TCA	0,1310	0,1542	0,1241	0,0951	0,1221	0,1160
TGAC	0,3275	0,2313	0,4966	0,3805	0,3664	0,3481

Fonte: a autora.

Foi então calculado o quociente da divisão da soma de cada linha do Quadro 11 pelo índice de priorização respectivo. A média dos valores obtidos foi igual a 6,1155 e equivale ao maior autovalor da matriz – o λ_{\max} da Equação 4 para o cálculo do índice de consistência. Dessa forma, para uma matriz de ordem 6 temos a seguinte fórmula (IC):

$$IC = \frac{6,1155 - 6}{6 - 1} = 0,0231$$

Finalmente, a fim de avaliar a inconsistência da matriz, aplicou-se a Equação 5 para obter a razão de consistência (RC), obtendo o índice de consistência para uma matriz recíproca (IR) do Quadro 7 para uma matriz de ordem 6.

$$RC = \frac{0,0231}{1,24} = 0,0186$$

Como $RC \leq 0,1$, considerou-se os julgamentos assumidos para as rotas de transmissão satisfatoriamente consistentes. Dessa forma, os índices de priorização obtidos poderão ser aplicados para o caso da COVID-19, conforme Quadro 12.

Quadro 12 – Índices de priorização para cada rota de transmissão da COVID-19

Transmissão por Contato	0,0257
Transmissão Aérea	0,0655
Transmissão por Contato e Aérea	0,1221
Transmissão por Gotículas	0,1903
Transmissão por Gotículas e Aérea	0,2483
Transmissão por Gotículas, Contato e Aérea	0,3481

Fonte: a autora

5 ESTUDO DE CASO

O Estudo de Caso desenvolvido neste trabalho foi realizado em um sanitário individual localizado em um hospital universitário. O sanitário é uma dependência da Coordenação Acadêmica do referido hospital, onde ocorrem aulas e atividades administrativas. O ambiente é acessado por professores, estudantes e profissionais da área da saúde, ou seja, não há circulação de pacientes na área estudada. Todavia, apesar disso, existe grande potencial de contaminação considerando que a área é acessada por profissionais da área da saúde.

5.1 Análise dos Indicadores em um Hospital Universitário

Nesse capítulo, os indicadores apresentados no Quadro **Erro! Fonte de referência não encontrada.** serão avaliados para o caso do sanitário estudado. Como dito anteriormente, o referido sanitário está situado no setor acadêmico da unidade, no décimo segundo andar da instalação, rodeado por salas de aula sendo, portanto, frequentado por alunos, residentes, professores e outros funcionários, não possuindo acesso para os pacientes da unidade. Trata-se de um sanitário individual compartimentado de 4,1m², dotado de lavatório e vaso sanitário, como pode ser visto no croqui apresentado na Figura 10.

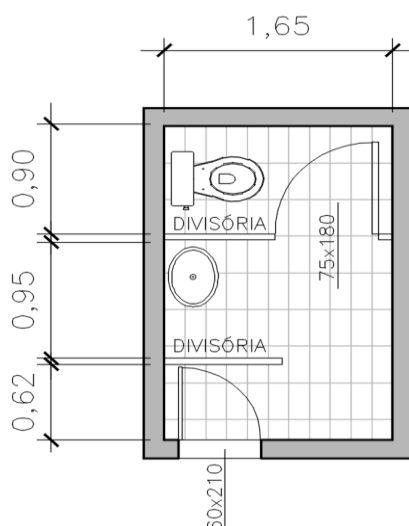


Figura 10 - Croqui de um sanitário localizado em um hospital universitário

5.1.1 Indicadores Ambientais

Primeiramente, foi feita a análise dos indicadores ambientais constantes no Quadro **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e seu enquadramento em uma das pontuações de risco.

Com relação à intensidade de luz natural, considerou-se a mesma como baixa, em virtude do sanitário não possuir janela ou qualquer outra entrada de luz em seu interior, como pode ser visto na Figura 11. O exaustor, apesar de existir e estar instalado no teto – altura considerada ideal –, não está operando. Dessa forma, como não há janela e o exaustor está inoperante, aos demais indicadores relacionados - área da janela e localização da janela e do exaustor –, será atribuída a maior pontuação de risco.



Figura 11 - Ambiente sem janela com exaustor inoperante

Com relação ao lavatório, o mesmo tem uma cuba redonda com profundidade de 17 centímetros, que foi considerada rasa. Na data da inspeção, não foi verificado acúmulo de água ou presença de secreções na cuba, conforme Figura 12. É importante observar que a cor escura da cuba pode comprometer a eficácia da limpeza, permitindo acúmulo de sujeira não visível. A torneira, por sua vez, não era dotada de arejador e não apresentava gotejamento. A pressão de água na torneira foi considerada baixa.



Figura 12 – Lavatório

Com relação aos materiais, tanto a fechadura das portas quanto a torneira e a descarga são compostas por material metálico. O vaso sanitário, por sua vez, é de porcelana, mas possui assento de material plástico, assim como o *dispenser* de sabão, que estava cheio, como pode ser visto na Figura 13. Assim como no lavatório, a cor azul escura do vaso sanitário dificulta a percepção de sujeira, o que pode comprometer a higienização do local. Todavia, não foi verificada sujeira visível.



Figura 13 – Componentes do banheiro

Especificamente com relação ao vaso sanitário, tanto a vazão quanto a pressão da descarga foram consideradas baixas. Não havia excretas no interior do vaso sanitário e o nível d'água foi considerado médio.

Com relação aos mecanismos de acionamento das peças sanitárias, a descarga do vaso sanitário exige apenas um toque para ser acionada, que poderá ocorrer com um dedo ou com a palma da mão, assim como no caso do *dispenser* de sabão. O acionamento da torneira e da fechadura, por sua vez, exige as mãos inteiras, por ser do tipo rotatória.

Outros detalhes que valem a pena serem observados são a lixeira sem tampa, possibilitando a propagação de vetores no ambiente, a posição central do ralo considerada inadequada, e a presença de um *dispenser* de papel, não sendo utilizado mecanismo de secagem da mão por ar aquecido, conforme Figura 14. Finalmente, as condições gerais de limpeza no ambiente foram consideradas razoáveis.



Figura 14 – Outros detalhes do sanitário

Dessa forma, a partir dos resultados da inspeção realizada no local, apresentasse no Quadro 13 a pontuação de risco atribuída a cada indicador ambiental e ponderação desses a partir do índice de priorização obtido para a rota de transmissão relacionada a cada um deles.

Quadro 13 - Classificação de risco dos indicadores ambientais para o sanitário estudado

INDICADOR AMBIENTAL	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Área do espaço	< 2 m ²		2 m ² =< Área =< 3 m ²		> 3 m ²	0,065 5	TA	0,0655
Intensidade de Luz Natural	Baixa	0,0771	Média		Alta		TC	0,0257

INDICADOR AMBIENTAL	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Janela	Não Possui	0,1965	---		Possui		TA	0,0655
Área da janela	Pequena (40x40cm)	0,1965	Média (50x50cm)		Grande (60x60cm)		TA	0,0655
Altura da janela	Abaixo de 1,7m do piso	0,1965	---		Acima de 1,7m do piso		TA	0,0655
Exaustor	Não Possui ou não operante	0,1965	---		Possui e está operante		TA	0,0655
Localização do exaustor	Abaixo de 2,1m do piso	0,1965	---		Acima de 2,1m do piso		TA	0,0655
Dispenser de Sabão	Não possui, não funciona ou está vazio		---		Possui e tem sabão	0,0257	TC	0,0257
Pressão da água na torneira	Forte		Média		Baixa	0,2483	TGA	0,2483
Nível d'água na bacia do lavatório	Alto		Médio		Baixo ou não existe	0,2483	TGA	0,2483
Arejador	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Profundidade da bacia do lavatório	Rasa (140/150mm)	0,7449	Média (150/160mm)		Funda (>160mm)		TGA	0,2483
Gotejamento na torneira	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Design da bacia	Fundo chato		---		Fundo redondo	0,2483	TGA	0,2483
Presença de secreções visíveis na bacia do lavatório	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Vazão de água da descarga	Alta		Média		Baixa	0,1221	TCA	0,1221
Pressão da água da descarga	Alta		Média		Baixa	0,1221	TCA	0,1221
Nível d'água no vaso sanitário	Alto		Médio	0,2442	Baixo		TCA	0,1221
Presença de excretas no vaso sanitário	Possui		---		Não possui	0,1221	TCA	0,1221
Presença de sujeira no assento do vaso sanitário	Possui		---		Não possui	0,0257	TC	0,0257

INDICADOR AMBIENTAL	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Material da maçaneta	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material do vaso sanitário	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material da descarga	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material da torneira	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material do <i>dispenser</i> de sabão	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Acionamento da descarga	Mãos inteiras ou mais de um dedo		Um dedo	0,0514	Sem toque		TC	0,0257
Acionamento da torneira	Mãos inteiras ou mais de um dedo	0,0771	Um dedo		Sem toque		TC	0,0257
Acionamento do <i>dispenser</i> de sabão	Mãos inteiras ou mais de um dedo		Um dedo	0,0514	Sem toque		TC	0,0257
Condições gerais de limpeza	Ruim		Razoável	0,0514	Boa		TC	0,0257
SOMA		2,2671		0,3984		1,973		2,9279

Assim, aplicando a Equação 13, temos:

$$RiskScoreAmbiental = \frac{2,2671 + 0,3984 + 1,973}{2,9279} = 1,5842$$

5.1.2 Indicadores Humanos

Com relação aos indicadores humanos, optou-se por simular os resultados de acordo com a observação do comportamento humano.

Dessa forma, foi suposto que a maioria dos indivíduos frequenta o banheiro 3 ou 4 vezes durante uma jornada de trabalho ou período de 8 horas, permanecendo nesse ambiente de 5 a 7 minutos, a cada ida. Ao utilizarem o banheiro, realizam cerca de 7 a 10 toques nas superfícies sanitárias. Supôs-se também que a maior parte dos indivíduos não utiliza o assento do vaso sanitário e não tem o costume

de abaixar a tampa do mesmo antes de acionar a descarga. Com relação aos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), admitiu-se não ser frequente o uso de máscara e de luvas ao utilizar o banheiro. Finalmente, no que diz respeito à higienização das mãos, admitiu-se que a mesma é desempenhada em cerca de 10 segundos, sem maiores preocupações com o protocolo.

No Quadro 14 são apresentados os resultados da classificação dos indicadores de acordo com a pontuação de risco e ponderação desses a partir do índice de priorização obtido para a rota de transmissão relacionada a cada um deles.

Quadro 14 - Classificação de risco dos indicadores humanos para o sanitário estudado

INDICADOR HUMANO	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Nº de toques	Mais de 10		Entre 7 e 10	0,0514	Menos de 7 ou utiliza luvas		TC	0,0257
Tempo total no banheiro	T > 7min		5min < T < 7min	0,6962	T<5min		TGAC	0,3481
Frequência de idas ao sanitário	mais de 4x por dia		3 ou 4x por dia	0,6962	Até 2x por dia		TGAC	0,3481
Utilização do assento	Sim, sem proteção		Sim, com medida preventiva		Não utiliza	0,0257	TC	0,0257
Tampa do vaso sanitário	Não abaixa	0,1965	---		Abaixa		TA	0,0655
Uso de máscara	Não	0,1965	---		Sim		TA	0,0655
Uso de luva	Não	0,0771	---		Sim		TC	0,0257
Higiene das mãos	10 segundos	0,0771	20 segundos		30 segundos		TC	0,0257
SOMA		0,5472		1,4438		0,0257		0,93

Assim, aplicando a Equação 13:

$$RiskScoreHumano = \frac{0,5472 + 1,4438 + 0,0257}{0,93} = 2,1685$$

5.2 Cálculo do Risk Score Global do Sanitário para a COVID-19

O Risk Score Global do sanitário analisado em relação ao seu potencial de disseminação do vírus SARS-CoV-2 entre os usuários será obtido pelo quociente da soma de todos os indicadores ponderados pelo somatório dos índices de priorização aplicados na ponderação. Dessa forma, chegou-se ao resultado do Quadro 15.

Quadro 15 – Cálculo do *Risk Score* global

RISK SCORE	RISCO = 3	RISCO = 2	RISCO = 1
Indicadores Ambientais (IA)	2,2671	0,3984	1,973
Total IA	4,6385		
Indicadores Humanos (IH)	0,5472	1,4438	0,0257
Total IH	2,0167		
Soma IA + IH	6,6552		
Soma IP	2,9279 + 0,93 = 3,8579		
<i>Risk Score</i> Global	1,7251 (médio)		

5.2.1 Simulação da Adoção de Medidas Corretivas e cálculo do novo *Risk Score* Global

Neste capítulo é proposta uma nova simulação do *Risk Score* assumindo a adoção de algumas medidas corretivas objetivando verificar o impacto da adoção dessas medidas nos resultados da avaliação de risco global. Para tal, optou-se pela seleção de medidas corretivas relacionadas ao Fator Ambiental do tripé de riscos que fossem de rápida implementação e menor custo. Foram elas:

- Instalação de um exaustor acima de 2,1m do piso;
- Substituição da cuba do lavatório por uma mais profunda;
- Substituição da torneira e do *dispenser* de sabão por peças dotadas de sensor com acionamento automático;
- Melhoria das condições gerais de limpeza do ambiente.

Dessa forma, no Quadro 16 apresentam-se os resultados da nova classificação dos indicadores listados acima e realçados em laranja, com a redução das suas respectivas pontuações de risco.

Quadro 16 - Nova classificação de riscos com base na simulação da adoção de medidas

INDICADOR AMBIENTAL	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Área do espaço	< 2 m ²		2 m ² =< Área =< 3 m ²		> 3 m ²	0,0655	TA	0,0655
Intensidade de Luz Natural	Baixa	0,0771	Média		Alta		TC	0,0257
Janela	Não Possui	0,1965	---		Possui		TA	0,0655
Área da janela	Pequena (40x40cm)	0,1965	Média (50x50cm)		Grande (60x60cm)		TA	0,0655
Altura da janela	Abaixo de 1,7m do piso	0,1965	---		Acima de 1,7m do piso		TA	0,0655

INDICADOR AMBIENTAL	RISCO = 3	3*IP	RISCO = 2	2*IP	RISCO = 1	1*IP	ROTA DE TRANSMISSÃO	ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO (IP)
Exaustor	Não Possui ou não operante		---		Possui e está operante	0,0655	TA	0,0655
Localização do exaustor	Abaixo de 2,1m do piso		---		Acima de 2,1m do piso	0,0655	TA	0,0655
Dispenser de Sabão	Não possui, não funciona ou está vazio		---		Possui e tem sabão	0,0257	TC	0,0257
Pressão da água na torneira	Forte		Média		Baixa	0,2483	TGA	0,2483
Nível d'água na bacia do lavatório	Alto		Médio		Baixo ou não existe	0,2483	TGA	0,2483
Arejador	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Profundidade da bacia do lavatório	Rasa (140/150mm)		Média (150/160mm)		Funda (>160mm)	0,2483	TGA	0,2483
Gotejamento na torneira	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Design da bacia	Fundo chato		---		Fundo redondo	0,2483	TGA	0,2483
Presença de secreções visíveis na bacia do lavatório	Possui		---		Não possui	0,2483	TGA	0,2483
Vazão de água da descarga	Alta		Média		Baixa	0,1221	TCA	0,1221
Pressão da água da descarga	Alta		Média		Baixa	0,1221	TCA	0,1221
Nível d'água no vaso sanitário	Alto		Médio	0,2442	Baixo		TCA	0,1221
Presença de excretas no vaso sanitário	Possui		---		Não possui	0,1221	TCA	0,1221
Presença de sujeira no assento do vaso sanitário	Possui		---		Não possui	0,0257	TC	0,0257
Material da maçaneta	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material do vaso sanitário	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material da descarga	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material da torneira	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Material do dispenser de sabão	Alta criticidade	0,0771	Média criticidade		Baixa criticidade		TC	0,0257
Acionamento da descarga	Mãos inteiras ou mais de um dedo		Um dedo	0,0514	Sem toque		TC	0,0257
Acionamento da torneira	Mãos inteiras ou mais de um dedo		Um dedo		Sem toque	0,0257	TC	0,0257
Acionamento do dispenser de sabão	Mãos inteiras ou mais de um dedo		Um dedo		Sem toque	0,0257	TC	0,0257
Condições gerais de limpeza	Ruim		Razoável		Boa	0,0257	TC	0,0257
SOMA		1,0521		0,2956		2,4294		2,9279

Assim, aplicando a Equação 13, temos:

$$RiskScoreAmbiental = \frac{1,0521 + 0,2956 + 2,4294}{2,9279} = 1,29$$

Dessa forma, chega-se ao resultado mostrado no Quadro 17:

Quadro 17 - Cálculo do novo *Risk Score* Global após simulação de adoções de medidas corretivas no ambiente

NOVO RISK SCORE	RISCO = 3	RISCO = 2	RISCO = 1
Indicadores Ambientais (IA)	1,0521	0,2956	2,4294
Total IA	3,7771		
Indicadores Humanos (IH)	0,5472	1,4438	0,0257
Total IH	2,0167		
Soma IA + IH	5,7938		
Soma IP	3,8579		
<i>Risk Score</i> Global	1,5018 (médio)		

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O *Risk Score* Global encontrado para o sanitário estudado foi classificado como sendo médio. Analisando os indicadores utilizados, esse resultado se mostra coerente, tendo em vista que o ambiente estudado apresenta algumas deficiências conforme diagnosticado no presente estudo de caso.

Analisando o Quadro 8 é possível visualizar que os Indicadores Ambientais apresentaram maior contribuição no resultado final, tendo em vista que o somatório das pontuações dos indicadores desse grupo foi 130% maior do que o somatório das pontuações dos Indicadores Humanos, ou seja, mais que o dobro. Isso se deve ao fato de terem sido avaliados 29 Indicadores Ambientais em detrimento de apenas 8 Indicadores Humanos.

Todavia, quando se observam isoladamente os resultados obtidos para o *Risk Score* Ambiental e *Risk Score* Humano, percebe-se que o último resultou em um maior *Risk Score* – 1,5842 versus 2,1685. Isso ocorreu pois dos 8 Indicadores Humanos analisados, apenas um apresentou pontuação de risco mínima, ou seja, apenas 12% dos indicadores estavam relacionados a uma pontuação de risco mínima e os outros 88% relacionaram-se a risco médio ou alto. No caso dos Indicadores Ambientais, por sua vez, 12 dos 29 indicadores apresentaram pontuação de risco mínima, ou seja, 41%, o que levou ao resultado de menor risco relacionado aos indicadores ambientais.

Os indicadores de maior importância no estudo foram aqueles relacionados às rotas de transmissão TGA, TCA e TGAC, que tiveram maior Índice de Priorização. Foram eles: tempo total de uso, frequência de uso, pressão, vazão e nível d'água no lavatório e no vaso sanitário, existência de arejador na torneira, gotejamento, profundidade e design do lavatório e presença de resíduos no lavatório ou vaso sanitário.

Dessa forma, pode-se concluir que o projeto, design e manutenção das peças sanitárias – principalmente torneira e vaso sanitário – apresentam grande relevância no controle da disseminação de patógenos em um ambiente sanitário. Todavia, indicadores como materiais e mecanismos de acionamento das peças sanitárias, associados à transmissão por contato, assim como higienização das

mãos e uso de luvas, estariam sendo superestimados no que diz respeito à transmissão do vírus SARS-CoV-2.

Com relação ao recálculo do *Risk Score* Global, a opção pela adoção de medidas corretivas relacionadas ao ambiente justificou-se pelo fato de que o Fator Ambiental é mais fácil de ser controlado e modificado, enquanto que os indicadores relacionados ao Fator Humano envolvem questões culturais e comportamentais, necessitando de grande campanha de conscientização para modificá-los, o que demanda tempo.

Após a simulação de adoção das medidas corretivas relacionadas ao exaustor e aos mecanismo de acionamento da torneira e do *dispenser* de sabão, à profundidade do lavatório e às condições gerais de limpeza, observou-se uma queda de 12,94% na pontuação de risco em comparação com a primeira simulação com as condições reais do sanitário avaliado, o que foi considerada uma redução satisfatória tendo em vista a simplicidade das medidas propostas. Todavia, mesmo com tal redução, o risco continuou sendo classificado como médio, apesar de estar no limite dessa classificação.

Esse resultado, portanto, sugere que, para uma mudança na classificação de risco, seria necessária a adoção de medidas mais estruturais como a instalação de uma janela, por. Todavia, a instalação de uma janela, por sua vez, não é viável para o ambiente analisado, tampouco o aumento das dimensões do sanitário. Com relação aos materiais das peças sanitárias, não existem atualmente opções no mercado que ofereçam menor estabilidade aos patógenos, de forma que os materiais que compõem as peças sanitárias do ambiente estudado são aqueles comumente encontrados em sanitários e banheiros – a adoção de superfícies futuristas como cobre e prata ainda está longe de ser uma realidade para o mercado. Vale ressaltar também que a instalação de um exaustor visando a redução da contaminação no ambiente exige um estudo detalhado de dinâmica dos fluidos, tendo em vista que a posição do exaustor não deve implicar no surgimento de correntes de ar direcionadas para as vias aéreas do usuário.

Dessa forma, é possível concluir que, para o caso estudado, as únicas medidas possíveis seriam medidas relacionadas ao Fator Humano do tripé de riscos, apesar da maior dificuldade e incertezas da implementação desta última em virtude da influência da cultura, cognição e comportamento humano.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de risco de disseminação do vírus Sars-CoV-2 em ambientes sanitários. Para tal, este estudo valeu-se da aplicação de técnicas de engenharia de segurança amplamente difundidas, tais como: FMEA, FTA e análise ergonômica. A aplicação dessas técnicas possibilitou a identificação dos indicadores ambientais e humanos e das rotas de transmissão relacionadas à doença – os três aspectos principais do estudo, o qual nomeou-se de “tripé de riscos”. Posteriormente, a metodologia AHP foi aplicada objetivando a obtenção dos índices de priorização das rotas de transmissão identificadas para o ambiente de um sanitário. Dessa forma, foi possível a aplicação da metodologia desenvolvida em um estudo de caso realizado num sanitário individual localizado em um hospital universitário, obtendo os resultados expostos no capítulo anterior. A metodologia desenvolvida no presente estudo mostrou-se uma ferramenta aplicável para o escopo definido, mostrando-se relevante para a identificação e priorização de medidas preventivas e de mitigação a fim de reduzir a disseminação de patógenos no ambiente estudado.

Apesar de sua aplicabilidade, é importante ressaltar as limitações da metodologia apresentada. As principais delas, como já citado, dizem respeito ao ambiente de aplicação e ao tipo de patógeno estudado. Os indicadores determinados são específicos para o ambiente de um sanitário e as rotas de transmissão identificadas são limitadas para o caso da COVID-19.

Outra limitação está relacionada à aplicação das metodologias de análise de risco – FMEA, FTA e análise ergonômica. Essas técnicas foram aplicadas sem a participação de uma equipe multidisciplinar. Dessa forma, a identificação dos indicadores e rotas de transmissão foi limitada aos conhecimentos da autora e suas percepções, necessitando então de uma análise mais profunda. A avaliação do Fator Humano, por exemplo, contemplou um número limitado de indicadores – apenas 8 comparado aos 29 indicadores ambientais – e ocorreu mediante observação e suposições, sem a realização de pesquisas de campo para identificação de novos indicadores e para atribuição das pontuações de risco relacionadas a esses indicadores.

Finalmente, ainda sobre as limitações do presente trabalho, é importante observar que, para a avaliação dos indicadores relacionados à intensidade de luz e pressão, era possível utilizar métricas mais objetivas baseadas em medições com equipamentos especializados. Todavia, a metodologia apresentada foi desenvolvida de forma que fosse possível a aplicação por qualquer pessoa, inclusive aquelas que não tem acesso ou não estão familiarizadas com equipamentos de engenharia. Dessa forma, optou-se pela utilização de métricas mais subjetivas e de fácil entendimento a fim de não criar barreiras para a aplicação da metodologia.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação da metodologia para outros tipos de sanitários ou banheiros – coletivos, masculinos com mictórios, dotados de ducha higiênica, chuveiro, etc – a fim de incluir novos indicadores e identificar novas rotas de transmissão, obtendo comparações. Propõe-se também a aplicação da metodologia para ambientes não sanitários, ampliando o horizonte das técnicas utilizadas – como a FMEA e a análise ergonômica – de forma a possibilitar a identificação de novos indicadores de avaliação de risco que atendam as especificidades do ambiente estudado.

Sugere-se o estudo de outras infecções virais e bacterianas e suas rotas de transmissão, com a aplicação da FTA e, posteriormente, da AHP, a fim de identificar novas rotas de transmissão e ponderá-las de acordo com sua importância na disseminação de patógenos. Isso possibilitará uma avaliação de riscos mais completa e robusta, abrangendo outros tipos de infecções.

Finalmente, recomenda-se o avanço das pesquisas a respeito dos projetos das peças sanitárias, com destaque para os lavatórios e vasos sanitários. O projeto de sanitários e banheiros deve ser prioridade, especialmente em estabelecimento de saúde ou de grande circulação ao público em geral, tendo em vista a sua importância na disseminação de patógenos. A realização de inspeções e manutenção preventiva é primordial, assim como a adoção de novas tecnologias que confirmam maior segurança ambiental. A adoção de hábitos seguros e o uso de EPI devem ser continuamente incentivados, mas maior atenção deve ser dada às questões técnicas e de engenharia.

REFERÊNCIAS

ABABNEH, Q. et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* contamination of high-touched surfaces in a university campus. **Journal of Applied Microbiology**, v. 132, n. 6, p. 4486 – 4500, 2022. DOI: DOI: 10.1111/jam.15526. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35279930/>. Acesso em: 10 out. 2022.

ABKAR, L. et al. COVID-19 pandemic lesson learned-critical parameters and research needs for UVC inactivation of viral aerosols. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100183>. Disponível em: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416622001395>. Acesso em: 22 set. 2022.

ABNEY, S. E. et al. Toilet hygiene—review and research needs. **Journal of Applied Microbiology**, v. 131, n. 6, p. 2705-2714, 2021. DOI: 10.1111/jam.15121. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33899991/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities**. Washington, D.C., 2001. Disponível em: <https://fgiguide.org/wp-content/uploads/2015/08/2001guidelines.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. *Potential failure mode and effects analysis (FMEA): reference manual*. Southfield, MI: AIAG, 2008.

ALI, B. H. et al. Wastewater aerosols produced during flushing toilets, WWTPs, and irrigation with reclaimed municipal wastewater as indirect exposure to SARS-CoV-2. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106201>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8361049/#!po=72.7941>. Acesso em: 4 mar. 2023.

AMBARWATI, R; YULIASTRI, D; SULISTIYOWATI, W. Human resource risk control through COVID-19 risk assessment in Indonesian manufacturing. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 74, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104665>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423021002710>. Acesso em: 22 set. 2022.

AMOAH, I.D. et al. Detection of SARS-CoV2 on contact surfaces within shared sanitation facilities and assessment of the potential risks of COVID-19. **Int J Hyg Environ Health**, v. 236, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113807>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8270751/>. Acesso em: 10 out. 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Healthcare**. Georgia, US, 2021. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/healthcare>. Acesso em: 22 set. 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 170-2017, Ventilation of Health Care Facilities**. Georgia, US, 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 62.1-2019, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Georgia, US, 2019.

AYYILDIZ, E.; GUMUS, A. T. A novel distance learning ergonomics checklist and risk evaluation methodology: A case of COVID-19 pandemic. **Human Factors Ergon. Manuf.**, v. 31, n. 4, p. 397-411, 2021. DOI: 10.1002/hfm.20908. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34220189/>. Acesso em: 10 out. 2022.

AZUMA, K. et al. Environmental factors involved in SARSCoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 25, n. 66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12199-020-00904-2>. Disponível em: <https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00904-2>. Acesso em: 22 set. 2022.

BARKER, J., BLOOMFIELD, S. F. Survival of Salmonella in bathrooms and toilets in domestic homes following salmonellosis. **Journal of Applied Microbiology**, v. 89, n. 1, p. 137-144, 2000. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2000.01091.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10945790/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

BARKER, J., STEVENS, D., BLOOMFIELD, S. F. Spread and prevention of some common viral infections in community facilities and domestic homes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 91, n. 1, p. 7-21, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2001.01364.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11442709/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

BEDNY, G. Z., KARWOWSKI, W., BEDNY, I.S. Task and its complexity. In: Marek T, Karwowski W, Frankowicz M, Kantola J, Zgaga P (eds) Human factors of a global society: a system of systems perspective. **CRC Press**, Boca Raton, pp 203–2010, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1201/b17033>. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b17033/human-factors-global-society-iussi-kantola-waldemar-karwowski-marek-frankowicz-tadeusz-marek-pavel-zgaga>. Acesso em: 7 mar. 2022.

BENOIT, M. È. et al. Faucet aerator design influences aerosol size distribution and microbial contamination level. **Science of The Total Environment**, v. 775, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145690. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33631571/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

BIRGAND, G. et al. Assessment of Air Contamination by SARS-CoV-2 in Hospital Settings. **JAMA Network Open**, v. 3, n. 12, 2020. DOI: doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.33232. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2774463>. Acesso em: 4 mar. 2023.

BULFONE, T. C., et al. Outdoor Transmission of SARS-CoV-2 and Other Respiratory Viruses: A Systematic Review. **J Infect Dis**, v. 223, n. 4, p. 550-561, 2021. DOI: 10.1093/infdis/jiaa742. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33249484/>. Acesso em: 10 out. 2022.

CARDUCCI, A. et al. Environmental survey to assess viral contamination of air and surfaces in hospital settings. **Journal of Hospital Infection**, v. 77, n. 3, p. 242-247, 2011. DOI: 10.1016/j.jhin.2010.10.010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21277649/>. Acesso em: 22 set. 2022.

CARLSON, C. *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

CASANOVA, L. M. et al. Effects of air temperature and relative humidity on Coronavirus survival on surfaces. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 76, n.9, p. 2712–2717, 2010. DOI: 10.1128/AEM.02291-09. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77951613707&origin=inward>. Acesso em: 10 set. 2022.

CDC. **Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities**. Georgia, US, 2003. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/index.html>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CDC. **Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission. Georgia, US**, 2021a. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/SARS-CoV-2-transmission.html>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CDC. **2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings**. Georgia, US, 2022c. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/isolation-guidelines-H.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CHAGLA, Z. et al. Re: It Is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. **Clin Infect Dis**, v. 73, n. 11, 2021. DOI: 10.1093/cid/ciaa1118. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32780799/>. Acesso em: 22 set. 2022.

CHAN, K. H. et al. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. **Advances in Virology**, v. 2011, 2011. DOI: 10.1155/2011/734690. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22312351/>. Acesso em: 10 out. 2022.

CURTIS, V., CAIRNCROSS, S., YONLI, R. Domestic hygiene and diarrhoea—pinpointing the problem. **Trop Med Int Health**, v. 5, n. 1, p. 22–32, 2000. DOI: 10.1046/j.1365-3156.2000.00512.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10672202/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

DANCER, S. J. Controlling hospital-acquired infection: focus on the role of the environment and new Technologies for decontamination. **Clin. Microbiol. Rev.**, v.27, p. 665–690, 2014. DOI: 10.1128/CMR.00020-14. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84907751841&origin=inward>. Acesso em: 8 mar. 2022.

DANCER, S. J. et al. What is the risk of acquiring SARS-CoV-2 from the use of public toilets? **Science of The Total Environment**, v. 792, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148341>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8192832/>. Acesso em: 4 mar. 2023.

DAVANZO, E. et al. Occupational blood and body fluid exposure of university health care workers. **Am J Infect Control**, v. 36, n. 10, p. 753-756, 2008. DOI: 10.1016/j.ajic.2008.04.254. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196655308006780>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DE GEYTER, D. et al. The sink as a potential source of transmission of carbapenemase-producing Enterobacteriaceae in the intensive care unit. **Antimicrobial Resistance and Infection Control**, v. 6, n. 24, 2017. DOI: 10.1186/s13756-017-0182-3. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28239453/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DING, Z. et al. Toilets dominate environmental detection of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in a hospital. **Sci Total Environ**, v. 753, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141710>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428758/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DORELAMEN, N. V., BUSHMAKER, T., MUNSTER, V. J. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under diferente environmental conditions, Euro Surveill. v. 18, n.38, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>. Disponível em: <https://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/1560-7917.ES2013.18.38.20590>. Acesso em: 7 out. 2022.

DOREMALEN, N. V. et al. Aerosol and surfasse stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1, N. Engl. J. Med. v. 382, n. 16, p. 1564–1567, 2020. DOI: DOI: 10.1056/NEJMc2004973. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMc2004973> Acesso em: 9 ago. 2022.

DUGUID, J. P. The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei. **Journal of Hygiene**, v. 44, n. 6, p. 471-479, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022172400019288>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/epidemiology-and-infection/article/size-and-the-duration-of-aircarriage-of-respiratory-droplets-and-droplet-nuclei/219325B967EEBDB76464532AB3357F6C>. Acesso em: 10 out. 2022.

ELSAID, A. M.; AHMED, M. S. Indoor Air Quality Strategies for Air-Conditioning and Ventilation Systems with the Spread of the Global Coronavirus (COVID-19) Epidemic: Improvements and Recommendations. **Environmental Research**, v. 199, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111314>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8146370/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

FAN, X. et al. Numerical investigation of the effects of environmental conditions, droplet size, and social distancing on droplet transmission in a street canyon. **E3S Web of Conferences**, v. 356, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235604029>. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/23/e3sconf_roomvent2022_04029.pdf. Acesso em: 22 set. 2022.

FERIOLI, M. et al. Protecting healthcare workers from SARS-CoV-2 infection: practical indications. **European Respiratory Review**, v. 29, n. 155, 2020. DOI: 10.1183/16000617.0068-2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32248146/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FORD MOTOR COMPANY. *Failure mode and effects analysis—fmea handbook (with robustness linkages)*. Versão 4.2, Dearborn, MI: Ford Motor Company, 2011.

GERHARDTS, A. et al. A model of the transmission of micro-organisms in a public setting and its correlation to pathogen infection risks. **Journal of Applied Microbiology**, v. 112, p. 614–621, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05234.x>. Disponível em: <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2012.05234.x>. Acesso em: 10 out. 2022.

GORMLEY, M.; ASPRAY, T. J.; KELLY, D. A. Aerosol and bioaerosol particle size and dynamics from defective sanitary plumbing systems. **Indoor Air**, v. 31, n. 5, p. 1427-1440, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12797>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12797>. Acesso em: 22 set. 2022.

GREENE, C. et al. Fomite-fingerpad transfer efficiency (pick-up and deposit) of *Acinetobacter baumannii*—with and without a latex glove. **Am J Infect Control**, v. 43, n. 9, p. 928-934, 2015. DOI: [10.1016/j.ajic.2015.05.008](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.05.008). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26141689/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

HAMMER, T. et al. Relationship between aerosols exposure and lung deposition dose. **Aerosol Air Qual. Res**, v. 20, n. 5, p. 1083–1093. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.01.0033>. Disponível em: <https://aaqr.org/articles/aaqr-20-01-0a-0033>. Acesso em: 4 mar. 2023.

HAQUE, S.E; RAHMAN, M. Association between temperature, humidity, and COVID-19 outbreaks in Bangladesh. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 253-255, 2020. DOI: [10.1016/j.envsci.2020.08.012](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.012). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32863760/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

HOTA, S. et al. Outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* colonization and infection secondary to imperfect intensive care unit room design. **Infect Control Hosp Epidemiol**, v. 30, n. 1, p. 25-33, 2009. DOI: [10.1086/592700](https://doi.org/10.1086/592700). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19046054/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

HUANG, C., MA, W., STACK, S. The hygienic efficacy of diferente hand-drying methods: a review of the evidence. **Mayo Clin. Proc.** v. 87, p. 791–798, 2012. DOI: [10.1016/j.mayocp.2012.02.019](https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2012.02.019). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3538484/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

ILO; IEA. *Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HFE) design and management of work systems*. Geneva: International Labour Organization, 2021.

INKINEN, J. et al. Copper as an antibacterial material in different facilities. **Lett. Appl. Microbiol.** v. 64, n.1, p. 19–26, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/lam.12680>. Disponível em: <https://academic.oup.com/lambio/article-abstract/64/1/19/6699029?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 1 mar. 2023.

ISODA, N. et al. Review: Evaluation of Foot-and-Mouth Disease Control Using Fault Tree Analysis. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 62, n. 3, p. 233-244, 2015. DOI: [doi: 10.1111/tbed.12116](https://doi.org/10.1111/tbed.12116). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23809890/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

JATOBÁ, A. et al. Designing for patient risk assessment in primary health care: a case study for ergonomic work analysis. **Cogn Tech Work**, v. 18, p. 215–231, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0355-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10111-015-0355-x>. Acesso em: 14 dez. 2022.

JAYAWEERA, M. et al. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. **Environmental Research**, v. 188, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7293495/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

JOHNSON, D. L. et al. Persistence of bowl water contamination during sequential flushes on contaminated toilets. **J Environ Health**, v. 80, p. 34–49, 2017. Disponível em: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/53485>. Acesso em: 13 mar. 2022.

JOHNSON, D. L. et al. Lifting the lid on toilet plume aerosol: a literature review with suggestions for future research. **Am J Infect Contr**, v. 41, p.254–258, 2013. DOI: [10.1016/j.ajic.2012.04.330](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.04.330). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23040490/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

JONES, T. M., LUTZ, E. A. Environmental survivability and surface sampling efficiencies for *Pseudomonas aeruginosa* on various fomites. **J Environ Health**, v. 76, n. 9, p. 16-20, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24909008/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

JUDSON, S. D., MUNSTER, V. J. Nosocomial transmission of emerging viruses via aerosol-generating medical procedures. **Viruses**, v. 11, n. 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11100940>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6832307/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

JÚNIOR, A. P. et al. Ergonomic analysis of work in an eyeglasses store. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 6052 – 6059, 2015. DOI: [doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.730](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.730). Disponível em: <https://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/43561.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2022.

KANG, L. et al. Impact on mental health and perceptions of psychological care among medical and nursing staff in Wuhan during the 2019 novel coronavirus disease outbreak: a cross-sectional study. **Brain Behav. Immun**, v. 87, p. 11-17, 2020. DOI: [doi: 10.1016/j.bbi.2020.03.028](https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.03.028). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7118532/?report=reader>. Acesso em: 4 mar. 2023.

KOLEL-VEETIL, M., SEN, A., BUEHLER, M. J. Surface adhesion of viruses and bacteria: Defend only and/ or vibrationally extinguish also?! A perspective. **MRS Advances**, v. 6, p. 355–361, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1557/s43580-021-00079-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1557/s43580-021-00079-0>. Acesso em: 22 set. 2022.

KOTAY, S. M. et al. Droplet rather than Aerosol Mediated Dispersion is the Primary Mechanism of Bacterial transmission from Contaminated Hand Washing Sink Traps. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 2, 2019. DOI: [10.1128/AEM.01997-18](https://doi.org/10.1128/AEM.01997-18). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30367005/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

KRISHNAN, R. et al. An influence of dew point temperature on the occurrence of *Mycobacterium tuberculosis* disease in Chennai, India. **Scientific Reports**, v. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10111-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-10111-4>. Acesso em: 12 jan. 2023.

KUDO, E. et al. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. **Proc Natl Acad Sci U S A**, v. 116, n. 22, p. 10905-10910,

2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.190284011>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6561219/>. Acesso em: 4 mar. 2023.

KULKARNI, V. S.; DEVALKAR, R. V. Postural analysis of building construction workers using ergonomics. **Int J Constr Manag**, v. 19, n. 6, p. 464–471, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452096>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2018.1452096>. Acesso em: 9 nov. 2022.

KWOK, Y. L. A., GRALTON, J., McLAWS, M. L.. Face touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene. **Am. J. Infect. Contr.** v. 43, p. 112–114, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2014.10.015>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25637115/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

LAI, A.C.K. et al. Emission strength of airborne pathogens during toilet flushing. **Indoor Air**, v. 28, n. 1, p. 73-79, 2018. DOI: 10.1111/ina.12406. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7165531/?report=reader>. Acesso em: 4 mar. 2022.

LI, S.; ZHOU, W. Reliability analysis of urban gas transmission and distribution system based on FMEA and correlation operator. **Front. Energy**, v. 8, p. 443–448, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11708-014-0336-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-014-0336-4>. Acesso em: 10 out. 2022.

LI, Y.; WANG, J.; CHEN, X. Can a toilet promote virus transmission? From a fluid dynamics perspective. **Physics of Fluids**, v. 32, 2020. DOI: doi: 10.1063/5.0013318 . Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7301880/pdf/PHFLE6-000032-065107_1.pdf. Acesso em: 4 mar. 2023.

LIU, H. C.; LIU, L; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: a literature review. **Experts Systems with Applications**, v. 40, n. 2, p. 828–838, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412009712>. Acesso em: 9 nov. 2022.

LIU, Y. et al. Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta. **Journal of Hospital Infection**, v. 107, p. 105-107, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.10.021>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7603996/>. Acesso em: 22 set. 2022.

LIU, X. Y. et al. Fault Tree Analysis: Investigation of Epidemic Hemorrhagic Fever Infection Acquired in Animal Laboratories in China. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 29, n. 9, p. 690-695, 2016. DOI: 10.3967/bes2016.093. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895398816301118>. Acesso em: 9 nov. 2022.

MAGGIULLI et al. Assessment and management of the risk of SARS-CoV-2 infection in an IVF laboratory. **Reproductive BioMedicine Online**, v. 41, n. 3, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7320666/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

MARGAS, E. et al. Assessment of the environmental microbiological cross contamination following hand drying with paper hand towels or na air blade dryer. **J.**

Appl. Microbiol. v. 115, p. 572–582, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12248>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23683001/>. Acesso em: 17 jul. 2022.

MARQUÈS, M.; DOMINGO, J. L. Contamination of inert surfaces by SARS-CoV-2: Persistence, stability and infectivity. A review. **Environmental Research**, v. 193, 2021. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110559. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33275925/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

McINTOSH, K. *COVID-19: Epidemiology, Virology, and Prevention*. Disponível em: <https://www.uptodate.com/contents/COVID-19-epidemiology-virology-and-prevention>.

MEYEROWITZ, E. A., et al. Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. **Ann Intern Med**, v. 174, n. 1, p. 69-79, 2021. DOI: 10.7326/M20-5008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32941052/>. Acesso em: 30 mar. 22.

MORAWSKA, L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? **Indoor Air**, v. 16, n. 5, p. 335-347, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MORAWSKA, L., CAO, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. **Environ. Int.**, v. 139, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7151430/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MOURA, I.B., EWIN, D., WILCOX, M.H. From the hospital toilet to the ward: a pilot study on microbe dispersal to multiple hospital surfaces following hand drying using a jet air dryer versus paper towels. **Infect. Control Hosp. Epidemiol.** v. 17, p. 1–4, 2021.

MOZUMDER, M. S. I. et al. Coronavirus COVID-19 outbreak and control: Effect of temperature, relative humidity, and lockdown implementation. **Archives de Pédiatrie**, v. 28, p. 111-116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2020.12.006>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7755572/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NIAZI, S. et al. The role of respiratory droplet physicochemistry in limiting and promoting the airborne transmission of human coronaviruses: A critical review. **Environmental Pollution**, v. 276, 2021. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115767. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33243541/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NRC. *Fault Tree Handbook*. Washington: U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.

OSHA. **COVID-19 Guidance on Ventilation in the Workplace OSHA**. 2020a. Disponível em: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA4103.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

OSHA. **Ergonomics**. 2022. Disponível em: <https://www.osha.gov/ergonomics/identify-problems>. Acesso em: 16 jan. 2022.

OXFORD, J. et al. The survival of influenza A(H1N1)pdm09 virus on 4 household surfaces. **Am J Infect Control**, v.42, n. 4, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2013.10.016>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196655313013321>. Acesso em: 10 out. 2022.

PALADY, P. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos*. 5ª edição. São Paulo: IMAM, 1997.

PERRY, K. A., et al. Persistence of influenza A (H1N1) virus on stainless steel surfaces. **Appl Environ Microbiol**, v. 82, 2016. DOI: doi:10.1128/AEM.04046-15 . Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4959249/>. Acesso em: 10 out. 2022.

PICA, N., BOUVIER, N. M. Environmental factors affecting the transmission of respiratory viruses. **Current Opinion in Virology**, v. 2, n. 1, p. 90-95, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2011.12.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1879625711001891>. Acesso em: 16 jan. 2022.

PIRZADIAN, J. et al. Impact of sink design on bacterial transmission from hospital sink drains to the surrounding sink environment tested using a fluorescent marker. **Journal of Hospital Infection**, v. 127, p. 39-43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2022.04.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195670122001347>. Acesso em: 9 nov. 2022.

PORTARAPILLO, M; BENEDETTO, A. D. Methodology for risk assessment of COVID-19 pandemic propagation. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104584>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423021001935>. Acesso em: 12 jul. 2022.

RAHMAN, M. et al. A global analysis on the effect of temperature, socio-economic and environmental factors on the spread and mortality rate of the COVID-19 pandemic. **Environ. Dev. Sustain**, v. 23, n. 6, p. 9352-9366, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01028-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-01028-x>. Acesso em: 4 mar. 2023.

RATNESAR-SHUMATE, S. et al. Simulated sunlight rapidly inactivates SARS-CoV-2 on surfaces. **J. Infect. Dis**, v. 222, n. 2, p. 214-222, 2020. DOI: 10.1093/infdis/jiaa274. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7313905/?report=reader>. Acesso em: 4 mar. 2023.

REN, S.Y. et al. Stability and infectivity of coronaviruses in inanimate environments. **World J. Clin. Cases**, v. 8, n. 8, p. 1391-1399, 2020. DOI: 10.12998/wjcc.v8.i8.1391. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7190947/pdf/WJCC-8-1391.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2023.

RIDDELL, S. et al. The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. **Virology Journal**, v. 17, n. 1, 2020. DOI: 10.1186/s12985-020-01418-7. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33028356/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

RIO DE JANEIRO (Cidade). Lei Complementar N° 198, de 14 de Janeiro de 2019. Institui o Código de Obras e Edificações Simplificado do Município do Rio de Janeiro - COES. Autor: Poder Executivo. **Diário oficial da cidade do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 15 jan. 2019. p. 3.

RUBIN, J. et al. Association of social distancing, population density, and temperature with the instantaneous reproduction number of SARS-CoV-2 in counties across the United States. **JAMA Netw. Open**, v. 3, n. 7, 2020. DOI: [doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.16099](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.16099). Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/article-abstract/2768570>. Acesso em: 4 mar. 2023.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, n. 1, 2008. Disponível em: <https://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SEAH, A. et al. The influence of air quality and meteorological variations on influenza A and B virus infections in a paediatric population in Singapore. **Environmental Research**, v. 2016, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114453>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935122017807>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SEVASTRU, S; CURTIS, S; KOLE, L. E.; NADARAJAH, P. Failure modes and effect analysis to develop transfer protocols in the management of COVID-19 patients. **British Journal of Anaesthesia**, v. 125, n. 2, p. 251-253, 2020. DOI: 10.1016/j.bja.2020.04.055. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7184001/pdf/main.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

STAMATIS, D. H. *Failure Mode and Effect Analysis: from Theory to Execution*. Milwaukee: Quality Press, 2003.

STEPHENS, B et al. Microbial Exchange via Fomites and Implications for Human Health. **Current Pollution Reports**, v. 5, p. 198-213, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00123-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-019-00123-6>. Acesso em: 22 set. 2022.

STONE, R. B., TUMER, I. Y., STOCK, M. E. Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design. **Res Eng Des**, p. 96–108, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-005-0005-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00163-005-0005-z>. Acesso em: 14 dez. 2022.

TELLIER, R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. **J R Soc Interface**, 2009. DOI: 10.1098/rsif.2009.0302.focus. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19773292/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

THOMAS, R. J. Particle size and pathogenicity in the respiratory tract. **Virulence**, v. 4, n. 8, p. 847–858, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4161/viru.27172>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3925716/>. Acesso em: 22 set. 2022.

TULADHAR, E. et al. Transfer of noroviruses between fingers and fomites and food products. **Int J Food Microbiol**, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160513004546>. Acesso em: 14 dez. 2022.

XIE, X., et al., Exhaled droplets due to talking and coughing. **J. R. Soc. Interface**, v. 6, n. 6, 2009. DOI: 10.1098/rsif.2009.0388.focus. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19812073/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

WANG, H. et al. Mortality risk associated with short-term exposure to particulate matter in China: estimating error and implication. **Environ. Sci. Technol**, v. 55, n. 2, p. 1110-1121, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05095>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.0c05095>. Acesso em: 4 mar. 2023.

WANG, J. Safety Theory and Control Technology of High-Speed Train Operation. Chapter 11 – Safety Analysis Methods for Train Control Systems. **Academic Press**, p. 309–354, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813304-0.00011-6>. Disponível em: Acesso em: 9 nov. 2022.

WANG, J. et al. Impact of Temperature and Relative Humidity on the Transmission of COVID-19: A Modeling Study in China and the United States. **BMJ Open**, v. 11, n. 2, 2021. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-043863. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33597143/>. Acesso em: 4 mar. 2023.

WANG, J; HAN, S; LI, X. 3D fuzzy ergonomic analysis for rapid workplace design and modification in construction. **Automation in Construction**, v. 123, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103521>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520311018?via%3Dihub>. Acesso em: 9 nov. 2022.

WU, Y. et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries. **Sci. Total Environ**, v. 729, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720325687>. Acesso em: 4 mar. 2023.

WEI, Y. et al. A narrative review on the role of temperature and humidity in COVID-19: Transmission, persistence, and epidemiological evidence. **Eco-Environment & Health**, v. 1, n. 2, p. 73-85, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772985022000096>. Acesso em: 4 mar. 2023.

WELCH, D. et al. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. **Scientific RePortS**, v. 8, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-21058-w. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-21058-w>. Acesso em: 12 jul. 2022.

WHO. **Infection prevention and control health-care facility response for COVID-19**. 2020a. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-HCF_assessment-IPC-2020.1. Acesso em: 30 mar. 2022.

WHO. **Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)**. 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-COVID-19-final-report.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

YANG, W., MARR, L. C. Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity, **PLoS One**, v. 6, n. 6, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0021481>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ZHAO, L. et al. COVID-19: effects of environmental conditions on the propagation of respiratory droplets. **Nano Lett**, v. 20, n. 10, p. 7744-7750, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.0c03331>. Acesso em: 4 mar. 2023.

APÊNDICE – FMEA ELABORADA PARA O FATOR AMBIENTAL DO TRIPÉ DE RISCOS

MODO DE FALHA	CAUSA	EFEITO	CONTROLES
O exaustor está irregular, inoperante ou não existe	Dimensionamento incorreto do sistema de exaustão	O ar possivelmente contaminado não é direcionado para o ambiente externo	Atendimento das normas vigentes
	O exaustor foi instalado numa altura não recomendada		Inspeção periódica
	Problemas no motor	Aumento da umidade no banheiro, possibilitando a proliferação de bactérias	Instalação de higrômetro
	Acúmulo de sujeira na hélice ou grelhas		
	Entupimento de dutos		
As janelas estão fechadas ou não há janelas	As janelas não abrem	A circulação de ar é insuficiente para a manutenção da qualidade do ar interior	Inspeção periódica
	Restrições do projeto impediram a instalação de janelas		Atendimento das normas vigentes
A temperatura está acima ou abaixo da ideal	Falha no sistema de ar condicionado	Favorecimento da disseminação de patógenos no ambiente	Instalação de termômetro
A umidade está acima da ideal	Materiais construtivos utilizados favorecem o aumento da umidade	Favorecimento da disseminação de patógenos no ambiente, com destaque para as bactérias	Instalação de higrômetro
	O ambiente é mal ventilado		Inspeção periódica
	Emissão de vapor d'água		
	O ambiente recebe pouca luz natural		Atendimento das normas vigentes
	Acúmulo de água em virtude de vazamentos na torneira ou no vaso sanitário		
A descarga está disparada, irregular ou inoperante	Vazamentos	Acúmulo de resíduos na bacia	Inspeção periódica
	O reparo da válvula está danificado		
	Válvula possui incrustações ou ferrugens	Mal cheiro	
	Má regulagem	Proliferação de vetores	
		Aerossolização de resíduos	
	Elementos de vedação danificados	Possível contaminação por contato com superfície contaminada	
Baixo fluxo de água no interior do vaso sanitário ou ausência do mesmo			
O vaso sanitário possui excretas em seu interior	Válvula danificada	Aerossolização de resíduos	Inspeção periódica
	Má regulagem da descarga	Mal cheiro	
	Entupimento	Proliferação de vetores	Livro de registros de higienização local
	Possível contaminação por contato com superfície contaminada		

MODO DE FALHA	CAUSA	EFEITO	CONTROLES
O nível de água no vaso sanitário está acima do ideal	Válvula danificada	Contato da mucosa urogenital com resíduos	Inspeção periódica
	Entupimento	Geração de gotículas	
	Má regulação da descarga	Contaminação das superfícies	
O dispenser de sabão não libera produto	Obstrução	Impossibilidade de higienização adequada das mãos	Inspeção periódica
	Problema no sensor	Possível contato com superfície contaminada	Instalação de dispenser de álcool em gel
	O reservatório está vazio		
A torneira apresenta vazamento	Mal fechamento	Aumento do nível de água na bacia do lavatório	Alarme
	Desgaste na borracha de vedação		Inspeção periódica
	Reparo danificado	Geração de gotículas	
	Incrustações	Possível contato das gotículas geradas com as mucosas	
A bacia do lavatório está acumulando água	Entupimento	Geração de gotículas	Atendimento das normas vigentes
	Alta pressão da água da torneira	Acúmulo de resíduos	Inspeção periódica
	Design inadequado da bacia	Possível contato das gotículas geradas com as mucosas	
A pressão de água da torneira está elevada	Problemas na válvula de pressão	Geração de gotículas	Manômetro
		Aerossolização	
A torneira está inoperante	Registro fechado	Impossibilidade de higienização adequada das mãos	Inspeção periódica
	Bolhas de ar na tubulação		
	Entupimento do arejador		
	Problemas na válvula de pressão	Acúmulo de resíduos na bacia do lavatório	Instalação de dispenser de álcool em gel
	Desabastecimento de água		
Baixo nível d'água na caixa d'água	Possível contato com superfície contaminada		
A bacia do lavatório possui secreções em seu interior	Não houve higienização do local	Possível contaminação por gotículas contaminadas geradas	Livro de registros de higienização local
	Baixa pressão da água da torneira		Inspeção periódica
	Design inadequado da bacia		