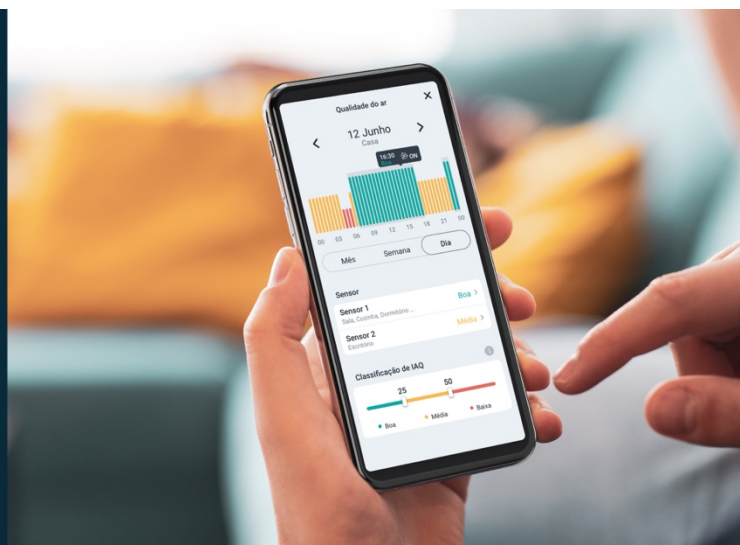




Relatório de desempenho da tecnologia QAI da Airzone



Introdução

Na Airzone, estamos firmemente empenhados em garantir o bem-estar das pessoas e em proteger o ambiente. Por esta razão, todas as soluções de controlo concebidas pela empresa visam alcançar um elevado conforto e eficiência energética.

É indiscutível que as pessoas tendem cada vez mais a permanecer muitas horas em espaços interiores. Nas zonas urbanas, 90% do tempo é passado em espaços fechados [1]. Esta tendência nos hábitos de vida implica mudanças significativas tanto no consumo que tem lugar nos edifícios, como no conforto e na qualidade do ar interior neles exigido.

Por esta razão, a Airzone desenvolveu uma solução que combina o controlo higrotérmico e a purificação do ar fornecido aos espaços ocupados.

As premissas iniciais para o desenvolvimento desta solução foram as seguintes:

- O tratamento de purificação pode ser realizado na presença de pessoas.
- O sistema de controlo e purificação está integrado na rede de distribuição de ar, tirando partido das características dos ventiladores nela existentes.

Graças à tecnologia utilizada pela Airzone, é possível controlar à distância os principais parâmetros de funcionamento (ligar/desligar, modo de funcionamento, velocidade do ventilador e temperatura de referência) das unidades de climatização e também reduzir o tempo que as partículas finas estão em suspensão no ar.

A solução de purificação para melhorar a qualidade do ar desenvolvida pelo departamento de engenharia da Airzone tem um design compacto. Pode ser instalada nos elementos de difusão Airzone (motorizados e não motorizados) e na impulsão das unidades de climatização com controlo por zonas com Easyzone.

Vários estudos realizados nos laboratórios da Airzone demonstraram empiricamente que a utilização deste dispositivo resulta numa redução de 47% na concentração máxima de uma fonte pontual de partículas de 2,5 µm ou PM_{2,5} (do inglês Particulate Matter) e uma redução até 55% no tempo em suspensão destas partículas no ar.

O dispositivo desenvolvido pela Airzone também foi testado em laboratórios externos e foi comprovado o seu efeito positivo no combate às alergias causadas por ácaros, pelos de animais domésticos, fumo de tabaco e pólen. Também foi considerada eficaz na eliminação de compostos orgânicos voláteis ou VOC (do inglês Volatile Organic Compounds), bactérias e vírus.

Estas evidências demonstram que a solução concebida pela Airzone melhora a qualidade do ar interior e aumenta a poupança de energia ao reduzir a taxa de ar exterior necessária para diluir os poluentes.

Este relatório apresenta os dados de desempenho sobre a solução de purificação desenvolvida pela Airzone.

Qualidade do ar interior e partículas PM_{2,5}

A qualidade do ar interior, entre outros aspetos, está fortemente ligada à ausência de partículas em suspensão.

O material particulado é uma mistura heterogénea e complexa de partículas líquidas e/ou sólidas, substâncias orgânicas e inorgânicas, que se encontram em suspensão no ar.

O material particulado faz parte da poluição atmosférica e representa um risco para a saúde das pessoas. De facto as partículas em suspensão são consideradas um poluente atmosférico, juntamente com o SO₂ (dióxido de enxofre), o NO_x (óxidos de azoto), o CO (monóxido de carbono), o Pb (chumbo), o C₆H₆ (benzeno) e o O₃ (ozono), pela Diretiva 2008/50/CE [2].

A composição do material particulado é muito variada, e os seus principais componentes incluem: sulfatos, nitratos, amoníaco, cloreto de sódio, carvão, pó mineral, cinzas metálicas, pólen, ácaros, fumo de tabaco, etc.

O material particulado é classificado de acordo com o seu tamanho:

- Partículas grossas: 10 µm > diâmetro aerodinâmico equivalente > 2,5 µm.
- Partículas finas: diâmetro aerodinâmico equivalente < 2,5 µm.

A exposição prolongada a partículas em suspensão aumenta o risco de doenças cardiovasculares [3], respiratórias (asma [4], doenças pulmonares [5] ou alergias [6]) e cancro do pulmão [7].

Devido ao seu tamanho, as partículas PM_{2,5} representam um maior risco de saúde do que as partículas PM₁₀, por três motivos.

- 1) Podem deslocar-se profundamente nos pulmões, penetrando nas vias respiratórias e fixando-se nos alvéolos pulmonares, chegando mesmo à corrente sanguínea. Como resultado, podem causar danos em qualquer órgão do corpo humano.
- 2) São compostas por elementos mais tóxicos (tais como metais pesados e compostos orgânicos) do que os elementos que, no geral, compõem as partículas maiores.
- 3) São mais leves e ficam mais tempo em suspensão no ar. Isto não só prolonga os seus efeitos negativos, como também facilita o seu transporte no ar.

Por estas razões, a OMS estabelece o limiar de exposição para as partículas PM_{2,5} em 10 µg/m³ (média anual) e 25 µg/m³ (média de 24 horas); enquanto para as partículas PM₁₀, o limiar de exposição é de 20 µg/m³ (média anual) e 50 µg/m³ (média de 24 horas) [8].

Tecnologia de ionização

A Airzone implementou a tecnologia de ionização negativa como uma técnica para remover partículas do ar.

A ionização do ar é um processo que ocorre quando os eletrões são removidos ou adicionados aos átomos, causando um desequilíbrio de carga. As configurações elétricas dos iões de ar assim formados incluem H⁺, H₃O⁺, O⁺, N⁺, OH⁻, H₂O⁻ e O₂⁻.

Estas moléculas ionizadas atuam como núcleos de condensação de pequenas partículas, que, quando aglutinadas, crescem e aumentam a sua massa. Assim, precipitam-se mais facilmente e são capturadas por filtros mais grossos.

A ionização do ar reduz o tempo em suspensão das partículas, reduzindo assim as partículas inaladas até 46% [9], [10] e [11]. Com esta técnica é possível alcançar taxas de eliminação de partículas 20% mais elevadas do que as alcançadas pela filtragem de alta eficiência [12] e [13].

Existem também evidências científicas sobre os benefícios da ionização para prevenir o efeito das alergias devidas a ácaros, pelos de animais de estimação, fumo de tabaco ou pólen [14], [15], [16] e [17].

As moléculas ionizadas de ar são também capazes de atuar sobre compostos orgânicos voláteis [18] e [19], eliminar bactérias (*Serratia marcescens* [20] e [21], *E. coli* [22] e [23], *Candida albicans* [24] e [23], *Staphylococcus aureus* [25] o *P. fluorescens* [26]) e inibir vírus (NDV [27] e Influenza [28]). As moléculas ionizadas danificam a membrana externa dos vírus e expõem o seu ARN à oxidação.

A disseminação dos iões é realizada por repulsão eletrostática. A migração de iões dependerá do alinhamento do campo magnético gerado entre o ponto de emissão e os objetos circundantes. A concentração de iões à volta dos geradores não é homogénea e diminui significativamente com a distância. Portanto, a sua instalação com ventiladores irá aumentar a zona de dispersão iónica.

O processo de ionização do ar pode ser realizado artificialmente através de diferentes mecanismos. Nos últimos anos, as técnicas de ionização do ar têm progredido exponencialmente, evoluindo das lâmpadas de ionização para a tecnologia de ponta de agulha utilizada pela Airzone. Isto tornou possível reduzir drasticamente o tamanho das unidades e minimizar os custos de manutenção e substituição.

A situação mundial atual popularizou a implementação de diferentes tecnologias de purificação do ar. No entanto, nem todas são adequadas para utilização com as unidades de climatização tradicionalmente utilizadas no setor residencial e terciário. Para melhor compreender as razões pelas quais a Airzone optou pela tecnologia de ionização, segue-se uma comparação das características das principais tecnologias disponíveis no mercado neste momento na Tabela 1.

| | Ionização negativa | Ozono | Ultravioleta | Oxidação fotocatalítica | Filtragem de alta eficiência |
|--|--|--|--|---|--------------------------------------|
| Tratamento com ocupação | SIM | SIM Concentração < 100 µg/m³ [8] | SIM Dose < 2,8 mJ/cm² [31] | SIM | SIM |
| Biocida | NÃO Não reconhecido oficialmente | NÃO Não reconhecido oficialmente [29] Concentração > 2 mg/m³ Oxidante que reage com proteínas e lípidos, mas incompatível com ocupação | SIM λ = 253,7 nm Dose = 50 mJ/cm² (ε = 99%) Altera o ADN e impede a reprodução | SIM Oxidante de compostos orgânicos voláteis e altera o ADN | NÃO |
| Restrições de montagem e segurança | Níveis de geração de ozono muito baixos | H > 2,20 m, controlo limitador e sinal luminoso [30] | Evitar a exposição direta | Evitar a exposição direta | Remoção dos filtros de proteção |
| Compatível com unidades de climatização | SIM | NÃO Altamente reativo e corrosivo com metais | SIM Evitar a exposição direta de polímeros por degradação foto-oxidativa [32] | SIM Evitar a exposição direta de polímeros por degradação foto-oxidativa [32] | NÃO Perda de carga elevada |
| Custo | Baixo | Médio | Médio | Alto | Baixo |
| Manutenção | Substituição do ionizador (8 anos) | Substituição do ozonizador (4 anos) | Substituição da lâmpada (2 anos) | Substituição da lâmpada (2 anos) | Limpeza dos filtros (4 meses) |

Tabela 1. Comparação das tecnologias de purificação do ar no mercado.

Teste de laboratório

A tecnologia desenvolvida pela Airzone foi submetida a diferentes testes de desempenho. Os testes realizados são descritos a seguir e são apresentados os resultados obtidos nestes testes.

Eliminação de partículas PM_{2,5}

A Airzone tem um laboratório que dispõe de uma sala que imita as condições reais de uma casa ou escritório.

A sala de testes tem um volume de 70 m³, com piso em grés e teto e paredes em gesso. As dimensões desta sala são: 7,15 m de comprimento, 3,80 m de largura e 2,55 m de altura.

Nesta sala de testes foi testada a unidade de 3,5 kW térmicos.

A rede de distribuição de ar é composta pelos seguintes elementos:

- Pleno de impulsão Easyzone.
- 10 metros de conduta flexível circular isolada com 3 cotovelos.
- Pleno de grelha.
- Grelha de difusão de 300 × 150 mm.

A concentração de partículas PM_{2,5} é gerada artificialmente pela queima de 4 paus de incenso.

No primeiro teste, o sistema de purificação está desligado. No segundo teste, o sistema de purificação está ligado. Em ambos os casos, a evolução temporal da concentração de partículas PM_{2,5} é monitorizada através de uma rede de sensores (Honeywell HMP e Panasonic SN-GCJA5) colocados tanto na sala como na impulsão e retorno da rede de distribuição de ar.

A unidade de climatização foi testada selecionando sempre a velocidade baixa. Desta forma, o caudal para a sala é de 360 m³/h (o que implica 5 renovações/hora) com uma velocidade de impulsão na grelha de aproximadamente 2,5 m/s.

A Figura 1 mostra a evolução temporal da concentração média no pleno de retorno. Os quatro paus consomem-se num intervalo de aproximadamente uma hora. Durante este período de tempo verifica-se um aumento da concentração de partículas. O pico máximo com o sistema de purificação desligado (linha laranja) é de 512 µg/m³, enquanto que com o sistema de purificação ligado (linha verde), apenas atinge o valor de 273 µg/m³. Isto representa uma redução de 47% na concentração máxima pontual durante o teste.

Assim que os paus se consomem, a concentração de partículas começa a diminuir. Contudo, quando o sistema de purificação está desligado (linha laranja), é necessário um tempo total de 11 horas e 45 minutos para remover todas as partículas. Em contraste, com o sistema de purificação ligado (linha verde), apenas são necessárias 5 horas e 20 minutos. Isto significa que o tempo em suspensão das partículas PM_{2,5} no ar foi reduzido em 55% ao utilizar o dispositivo Airzone.

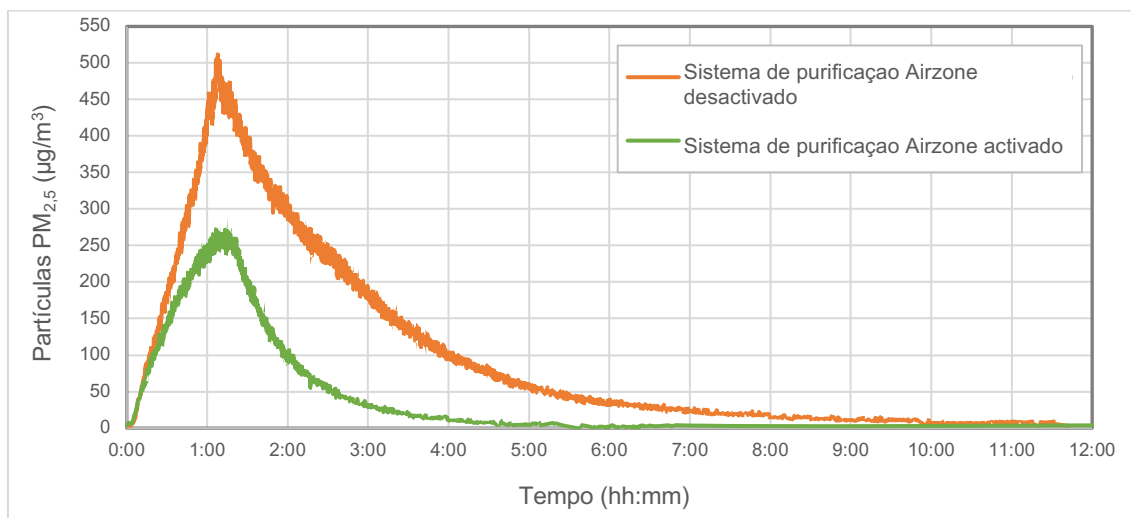


Figura 1. Evolução temporal da concentração de partículas PM_{2,5}.

Por conseguinte, foi confirmado o efeito benéfico da solução Airzone em termos da qualidade do ar interior, devido à ausência de partículas em suspensão.

Efeito desodorizante sobre os VOC

O laboratório japonês Boken Quality Evaluation Institute demonstrou o poderoso efeito desodorizante da solução de purificação da Airzone para fontes de compostos orgânicos voláteis, especificamente o CH₂O (formaldeído) e o H₂S (sulfureto de hidrogénio).

A Figura 2 mostra a evolução temporal da concentração de CH₂O. Podemos observar uma redução de 60% do composto orgânico volátil de formaldeído, com um tempo de exposição de 2 horas.

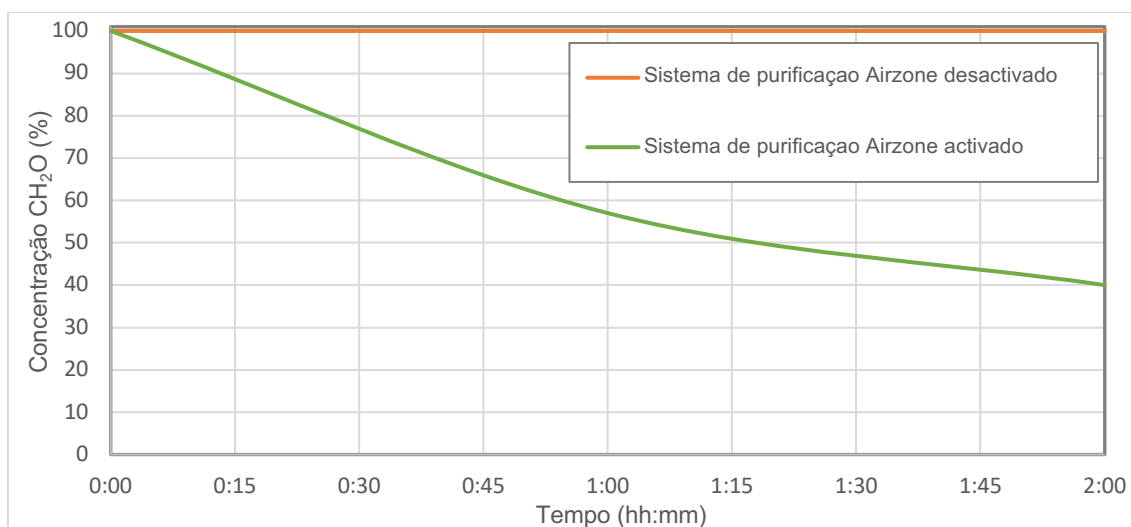


Figura 2. Evolução temporal da concentração de CH₂O (formaldeído).
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

A Figura 3 mostra a evolução temporal da concentração de H_2S . Podemos observar uma redução de 100% do composto orgânico volátil de sulfureto de hidrogénio, com um tempo de exposição de 2 horas.

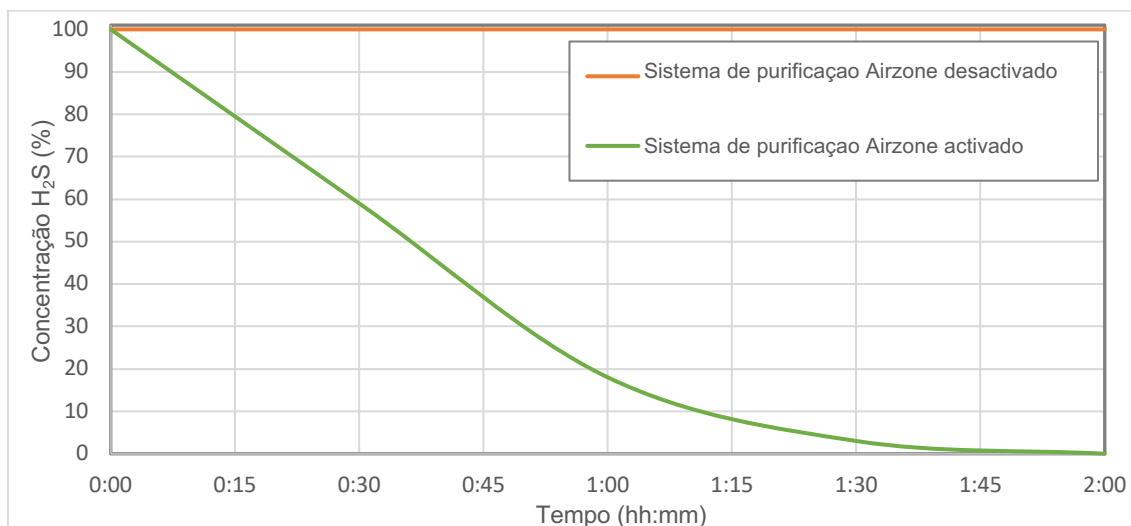


Figura 3. Evolução temporal da concentração de H_2S (sulfureto de hidrogénio).
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Estes testes mostram que a tecnologia de purificação da Airzone reduz os compostos orgânicos voláteis e os odores desagradáveis no ambiente.

Efeito antibacteriano

O laboratório japonês Boken Quality Evaluation Institute demonstrou o elevado potencial antibacteriano da solução de purificação Airzone, nomeadamente contra a *Bacillus coli* e a *Staphylococcus aureus*.

A Figura 4 mostra a evolução temporal das unidades formadoras de colónias de *Bacillus coli*. Podemos observar como num dia a colónia prospera até às 130 ufc com o sistema de purificação da Airzone desligado (linha laranja). Em contraste, a colónia é completamente eliminada no prazo de um dia, ao ligar o sistema de purificação da Airzone (linha verde).

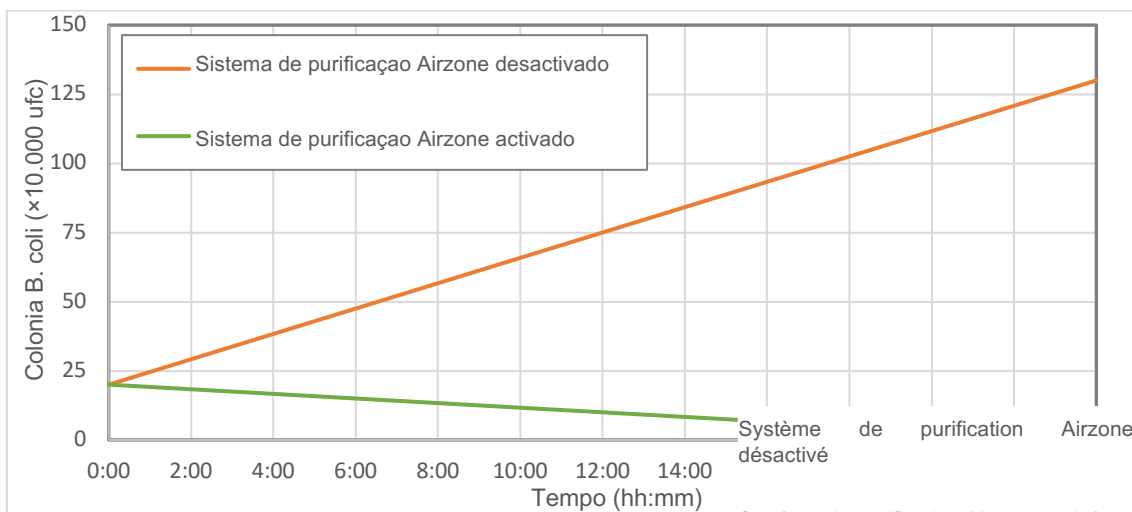


Figura 4. Evolução temporal da contagem das unidades formadoras de colónias de *Bacillus coli*.
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

A Figura 5 mostra a evolução temporal das unidades formadoras de colónias de *Staphylococcus aureus*. Podemos observar como num dia a colónia prospera até às 160 ufc com o sistema de purificação da Airzone desligado (linha laranja). Em contraste, a colónia é completamente eliminada no prazo de um dia, ao ligar o sistema de purificação da Airzone (linha verde).

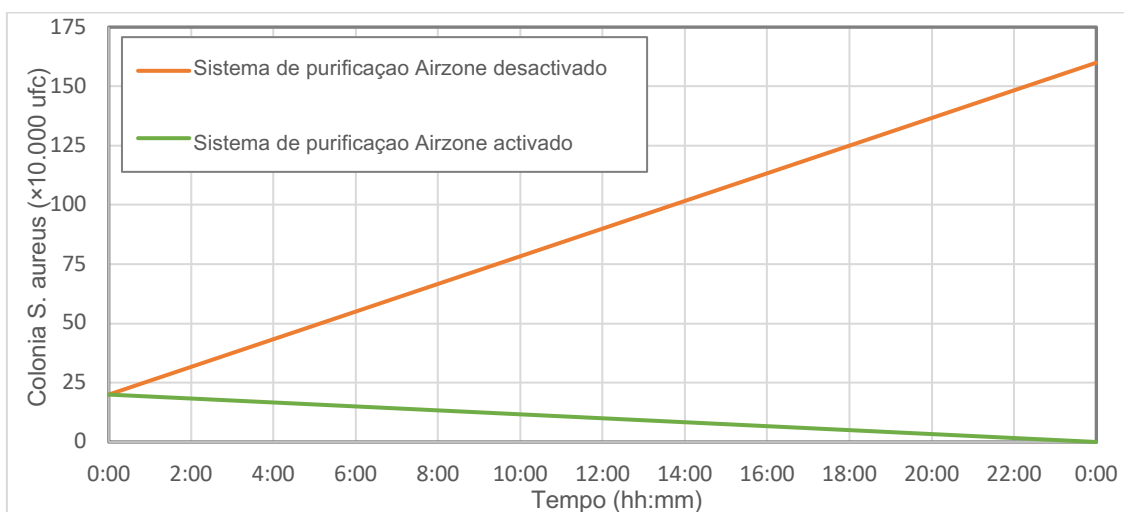


Figura 5. Evolução temporal da contagem das unidades formadoras de colónias de *Staphylococcus aureus*.
Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Boken Quality Evaluation Institute.

Estes testes mostram que a tecnologia de purificação da Airzone elimina diferentes tipos de bactérias.

Efeito antiviral

A BSA (Biomedical Sciences Association) da Faculdade de Medicina Veterinária e Ciências Biomédicas do Texas demonstrou o efeito inibidor da solução de purificação Airzone sobre o vírus Influenza H3N2 reduzindo a sua taxa de infecciosidade.

A taxa de infecciosidade é definida como o número de partículas virais capazes de invadir uma célula hospedeira.

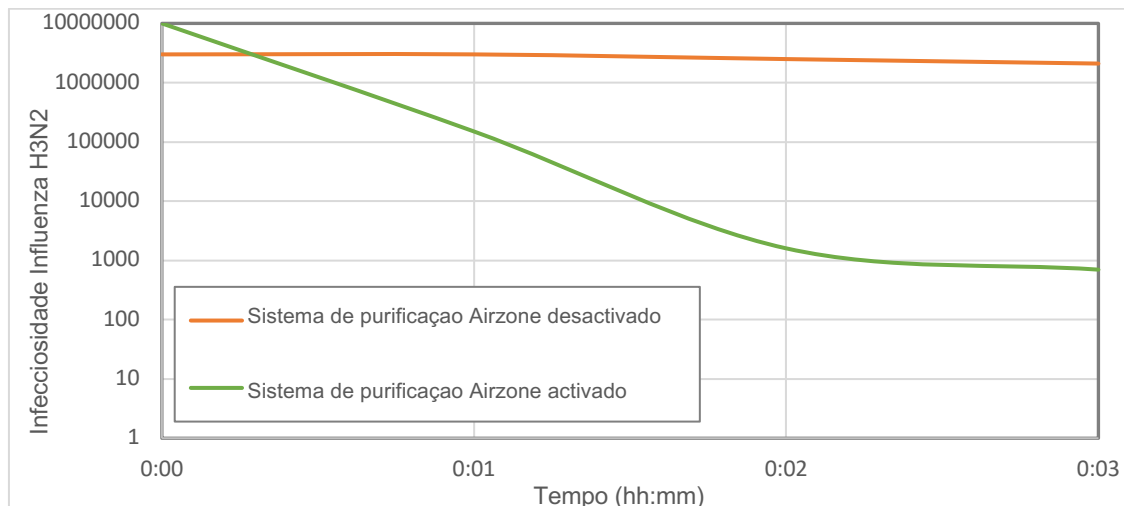


Figura 6. Evolução temporal da taxa de infecciosidade do vírus Influenza H3N2.

Fonte: Murata Manufacturing Co., Ltd - Associação de Ciências Biomédicas (Universidade A&M do Texas).

A Figura 6 mostra a evolução temporal da taxa de infecciosidade do vírus Influenza H3N2. Podemos observar como a taxa de infecciosidade praticamente não diminui quando o sistema de purificação da Airzone está desligado (linha laranja). Contudo, nos primeiros dois minutos há uma queda logarítmica quando se liga o sistema de purificação da Airzone (linha verde). Após três minutos de exposição, a infecciosidade foi reduzida de 10^7 para 700.

Por conseguinte, demonstra-se que a exposição direta à tecnologia de purificação da Airzone tem um efeito inibidor sobre os vírus.

Dimensionamento (UL 2998)

A Airzone prestou especial atenção ao dimensionamento do sistema de purificação para cumprir com a norma UL 2998 - Air cleaner validation for zero ozone emissions.

Esta norma de segurança e qualidade dos produtos dos EUA e do Canadá estabelece que nenhuma unidade para utilização doméstica deve produzir uma concentração superior a 0,05 ppm no volume descrito na secção 37.2 da norma.

A sala de testes tem dimensões entre 950 e 1100 pés cúbicos (entre 27 e 31 m³). Além disso, deve respeitar umas proporções específicas. A largura da sala de testes deve ser de pelo menos 8 pés (2,4 m) e a altura máxima deve ser de 10 pés (3 m).

Durante o teste, a sala de testes deve ser mantida em condições estáveis. A temperatura deve ser de 77 ± 4 °F (25 ± 2 °C) e a humidade relativa deve ser de 50 ± 5 por cento.

O produto em teste deve estar localizado no centro da sala de testes a uma distância de 30 polegadas (762 mm) do piso.

A emissão de ozono será monitorizada durante 24 horas para determinar a concentração.

Em condições de teste, a densidade de ozono é de 2,14 kg/m³ e a sua massa molar é de 48 g/mol. A densidade do ar é de 1.184 kg/m³.

Com esta informação e tendo em conta a quantidade de ozono gerada como subproduto da ionização (15 mg/h por ionizador) que Murata certificou no seu relatório JEHVAA-0141B, deve respeitar-se o volume de descarga mínimo indicado na Tabela 2.

| | Potência térmica da unidade | | |
|---------------------------|------------------------------------|--|--|
| | < 5 kW | 7,1 kW | 10-14 kW |
| Volume de descarga mínimo | 27 m ³ (3 × 3 × 3 m) | 54 m ³ (4,25 × 4,25 × 3 m) | 81 m ³ (5,2 × 5,2 × 3 m) |

Tabela 2. Volume (e relação de tamanho) do espaço mínimo de descarga de ar.

Estes volumes são pensados tendo em conta a segurança, uma vez que o sistema de purificação não estará ativo 24 horas por dia, 7 dias por semana.

Conclusões

A informação sobre o desempenho da solução de purificação desenvolvida pela Airzone permite-nos afirmar que é um dispositivo seguro e compacto, capaz de melhorar a qualidade do ar interior nos seguintes aspetos:

- Redução de partículas finas em suspensão no ar, com desempenhos superiores a uma filtragem de alta eficiência.
- Benefícios contra problemas respiratórios e alergias causadas por ácaros, pelos de animais domésticos, fumo de tabaco e pólen.
- Eliminação de odores devido à redução de VOC no ar.
- Inibição de bactérias e vírus.

Tudo isto sem comprometer o desempenho funcional dos ventiladores das unidades interiores.

A solução de purificação da Airzone não só melhora a qualidade do ar interior, mas também reduz o consumo de eletricidade ao reduzir a taxa de ar exterior fornecido aos espaços climatizados e permite o controlo à distância das unidades de climatização.

Todas estas características tornam o dispositivo de purificação da Airzone uma solução muito aliciante para certificações de edifícios sustentáveis, tais como BREEAM ou LEED, nas quais se poderia obter uma pontuação mais elevada através da inclusão da solução Airzone.

Bibliografia

- [1] Klepeis, N. et al. Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. Vol. 11 (2001), pp 231–252.
- [2] Directive 2008/50/EC of the *European Parliament and of the Council* of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [3] Liang, F. et al. Long-Term Exposure to Fine Particulate Matter and Cardiovascular Disease in China. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 75-7 (2020), pp 707–717.
- [4] Hakan, L. et al. Particulate Matter (PM_{2.5}, PM_{10-2.5} and PM₁₀) and Children's Hospital admission for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Vol. 71–8 (2008).
- [5] Hou, D. et al. Associations of long-term exposure to ambient fine particulate matter and nitrogen dioxide with lung function: A cross-sectional study in China. *Environmental International*. Vol. 144 (2020).
- [6] Wang, M. et al. The association between PM_{2.5} exposure and daily outpatient visits for allergic rhinitis: evidence from a seriously air-polluted environment. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 64 (2020), pp 139–144.
- [7] Raaschou-Nielsen, O. et al. Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Environmental International*. Vol. 87 (2016), pp 66–73.
- [8] World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 Summary of risk assessment.
- [9] Tanaka A. and Zhang, Y. Dust settling efficiency and electrostatic effect of a negative ionization system. *Journal of Agricultural Safety and Health*. Vol. 2-1 (1996), pp 39–47.
- [10] Mayya, Y. S., Sapra, B. K., Khan, A. and Sunny, F. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 35-8 (2004), pp 923–941.
- [11] Sawant, V.S. Removal of particulate matter by using negative electric discharge. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. Vol. 2 (2013), pp 48–51.
- [12] Pushpawela, B., Jayaratne, R., Nguy, A and Morawska, L. Efficiency of ionizers in removing airborne particles in indoor environments. *Journal of Electronics*. Vol. 90 (2017), pp 79–84.
- [13] Lee, B. U., Yermakov, M. and Grinshpun, S. A. Removal of fine and ultrafine particles indoor air environment by the unipolar ion emission. *Atmospheric Environment*. Vol 38 (2004), pp 4815–4823.
- [14] Cutis, N. J., Woodfolk, J. A., Vaughan, J. W. and Platts-Mills, T. A. E. Quantitative measurement of airborne allergens from dust mites, dogs, and cats using an ion-charging device. *Clinical & Experimental Allergy*. Vol. 33 (2003), pp 986–991.
- [15] Goodman, N. and Hughes, J. F. The effect of corona discharge on dust mite and cat allergens. *Journal of Electrostatics*. Vol. 60 (2004), pp 69–91.
- [16] Sawant, V. S., Meena, G. S. and Jadhav, D. B. Effect of negative air ions on fog and smoke. *Aerosol and Air Quality Research*. Vol 12 (2012), pp 1007–1015.

- [17] Kawamoto, S., Oshita, M., Fukuoka, N., Shigeta, S., Aki, T., Hayashi, T., Nishikawa, K. and Ono, K. Decrease in the Allergenicity of Japanese Cedar Pollen Allergen by Treatment with Positive and Negative Cluster Ions. *International archives of allergy and immunology*. Vol. 141-4 (2006), pp 313–321.
- [18] Wu, C. C. and Lee, G. W. M. Oxidation of Volatile Organic Compounds by Negative Air Ions. *Atmospheric Environment*. Vol. 38 (2004), pp 6287–6295.
- [19] Kim, K., Szulejko, J. E., Kumar, P., Kwon, E.E. and Adelodun, A. A. Air ionization as a control technology for off-gas emissions of volatile. *Environmental Pollution*. Vol. 225 (2017), pp 729–243.
- [20] Phillips, G., Harris, G. J. and Jones, M. W. Effects of air ions on bacterial aerosols. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 8 (1964), pp 27–37.
- [21] Zhou^a, P., Yang^c, Y., Huang, G. and Lai^b, C. K. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow. *Building and Environmental*. Vol. 127 (2018), pp 204–210.
- [22] Tyagi, A. K., Nirala, B. K., Malik, A. and Singh, K. The effect of negative air ion exposure on *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Environmental Science and Health. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Vol. 43 (2008), pp 694–699.
- [23] Noyce, J. O. and Hughes, J. F. Bactericidal effects of negative and positive ions generated in nitrogen on *Escherichia coli*. *Journal of Electrostatics*. Vol. 54 (2002), pp 179–187.
- [24] Shargawi, J. M., Theaker, E. D., Drucker, D. B., MacFarlane, T. and Duxbury A. J. Sensitivity of *Candida albicans* to negative air ion streams. *Journal Applied Microbiology*. Vol. 87 (1999), pp 889–897.
- [25] Dobrynin, D., Friedman, G., Fridman, A. and Starikovskiy, A. Inactivation of bacteria using DC corona discharge: Role of ions and humidity. *New Journal of Physics*. Vol. 13 (2011).
- [26] Timoshkin, I. V., Maclean, M., Wilson, M. P., Given, M. J., MacGregor, S. J., Wang, T. and Anderson, J. G. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air. *IEEE Transactions on Plasma Science*. Vol. 40-10 (2012), pp 2322–2333.
- [27] Bailey, W. Mitchell, P. and Daniel, J. K. Effect of Negative Air Ionization on Airborne Transmission of Newcastle Disease Virus. *Avian Diseases*. Vol. 38 (1994), pp 725–732.
- [28] Hagbom, M., Nordgren, J., Nybom, R., Hedlund, K., Wigzell, H. and Svensson, L. Ionizing air effects influenza virus infectivity and prevents airborne-transmission. *Scientific Reports*. Vol. 5 (2015).
- [29] Productos virucidas autorizados en España. Secretaría de Estado de Sanidad. Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral (2020).
- [30] UNE 400201:1994. Generadores de ozono. Tratamiento de aire. Seguridad química.
- [31] Directive 2006/25/EC. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation).
- [32] Ghatge, N. and Vernekar, S. Evaluation of ultraviolet light absorbers in poly vinyl chloride (PVC). *Macromolecular Materials and Engineering*. Vol. 20-1 (1971), pp 175–180.