

mercofrio2024

14º Congresso Internacional de Ar Condicionado,
Refrigeração, Aquecimento e Ventilação

Futuro do Planeta: Transformações Tecnológicas
e Responsabilidades do Universo AVAC-R



Capulli, Domenico – domenicocapulli@gmail.com
Veltha Despoluição Atmosférica, www.veltha.com.br
Regazzi, Rogério – rogregazzi@3rbrasil.com.br
3R Brasil, www.3RBrasil.com.br

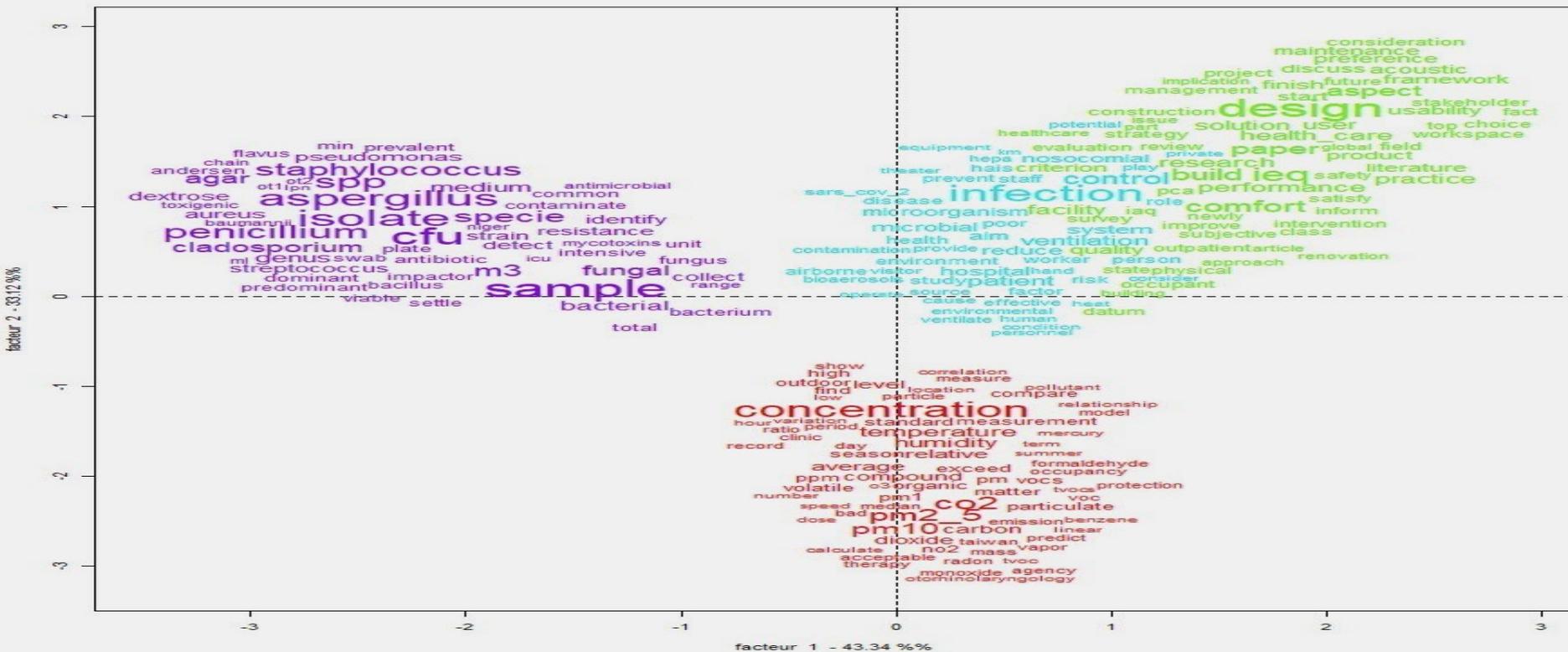
RADIOMETRIA DO AR REVELA O DESAFIO ÀS TECNOLOGIAS DE DEPURAÇÃO FÍSICO-QUÍMICO-BIOLÓGICO DO AR INTERNO.

AR

MATÉRIA-PRIMA DO HVAC ESTA CONTAMINADO

- A **qualidade do ar interno (QAI)** está em xeque nos meios acadêmicos. Fonseca, A., et al. (2022), analisou **171 publicações** de avaliação e gestão adequadas da qualidade do ar interior em instalações de saúde, no período 2015-2020.
- **Umidade, temperatura, material particulado, CO2 e carga microbiológica** constam em mais de **85%** dos estudos.
- Prevalência das palavras chave : **infecção, controle, paciente, ventilação, sistema e hospital** são citados com percentuais acima de **40%**

QUALIDADE DO AR INTERNO



DESAFIO ÀS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DO AR

- No tópico de **sistemas** adequados de **filtragem de partículas** também é destacada, em vários estudos gerais, a **influência** da **ventilação** na prevalência de **hospitalização com infecções**, quando foram abordadas estudos sobre SARS-CoV-2.
- Quando o foco é **contaminação microbiológica** as palavras chave amostragem, UFC, isolamento, *aspergillus*, *penicillium* e estafilococos assumem relevância na identificação dos microrganismos com resistência a antibióticos, haja vista a **presença** detectada de **micotoxinas** em filtros AVAC-R.

ORGANISMOS INTERNACIONAIS LEVATAM A RÉGUA DAS CONCENTRAÇÕES LIMITES

- Em fevereiro de 2024, a **EPA** estabeleceu padrão primário médio anual **PM 2,5 = 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** material particulado para qualidade do ar interno, um dos mais restritivos (**OMS PM 2,5 = 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**), em resultado das atuais evidencias científicas da correlação de ataques cardíacos e mortes prematuras. (**BRASIL NBR16401:2024 = 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**)
- Estudos da **EPA** sobre a exposição humana a poluentes atmosféricos indicam que os **níveis internos de poluentes** podem ser 2 a 5 vezes e ocasionalmente mais de 100 vezes **superiores** aos **níveis externos**.

MONITORAMENTO CONTÍNUO DA QUALIDADE DO AR- MCQA

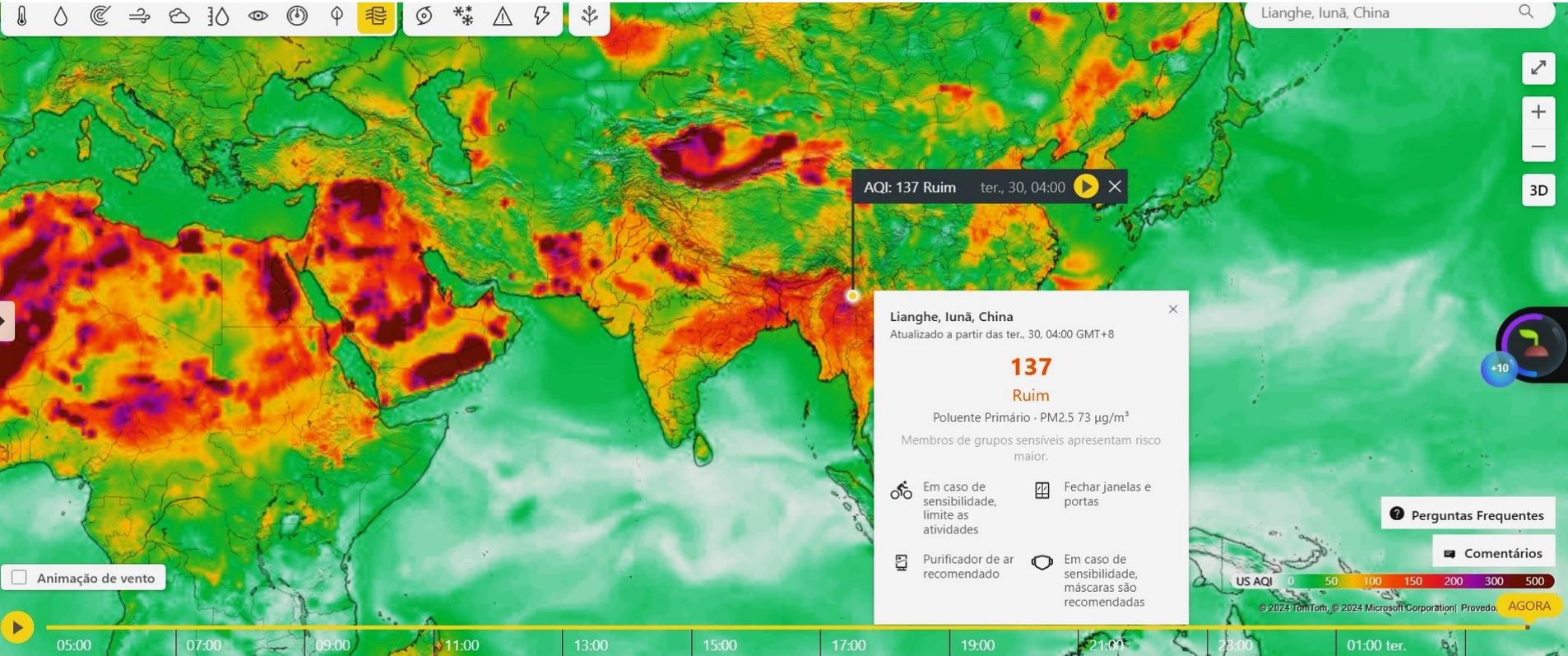
- A difusão da tecnologia de leitura do **espalhamento a laser** permitiu resolução e exatidão dos **amostradores de material particulado**.
- A metodologia de medição da qualidade do ar interno com sensores envolve diversos aspectos, incluindo a escolha do sensor, a calibração, a operação dinâmica e a análise de dados.
- Para quantificar compostos orgânicos voláteis (COVs), por exemplo, os sensores tipo resistores químicos são uma solução econômica, mas requerem métodos avançados de calibração e operação para lidar com a complexidade e a dinâmica das misturas de COV.

A QUALIDADE DO AR ESTA ON LINE

- Nesse mesmo sentido de capilaridade das informações da qualidade do ar para $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , CO_2 temos pela Microsoft Climate informações em tempo real da Qualidade do Ar externo por todo planeta, onde é possível avaliar as cidades com índices ruins de qualidade do ar por diferentes contaminantes.

Radiografia Global do Ar

Eurásia elevadas taxas de material particulado em suspensão > densidade populacional @ uso intensivo de energia @ ar seco partículas < 20 μ , menos sujeitas à ação gravitacional.

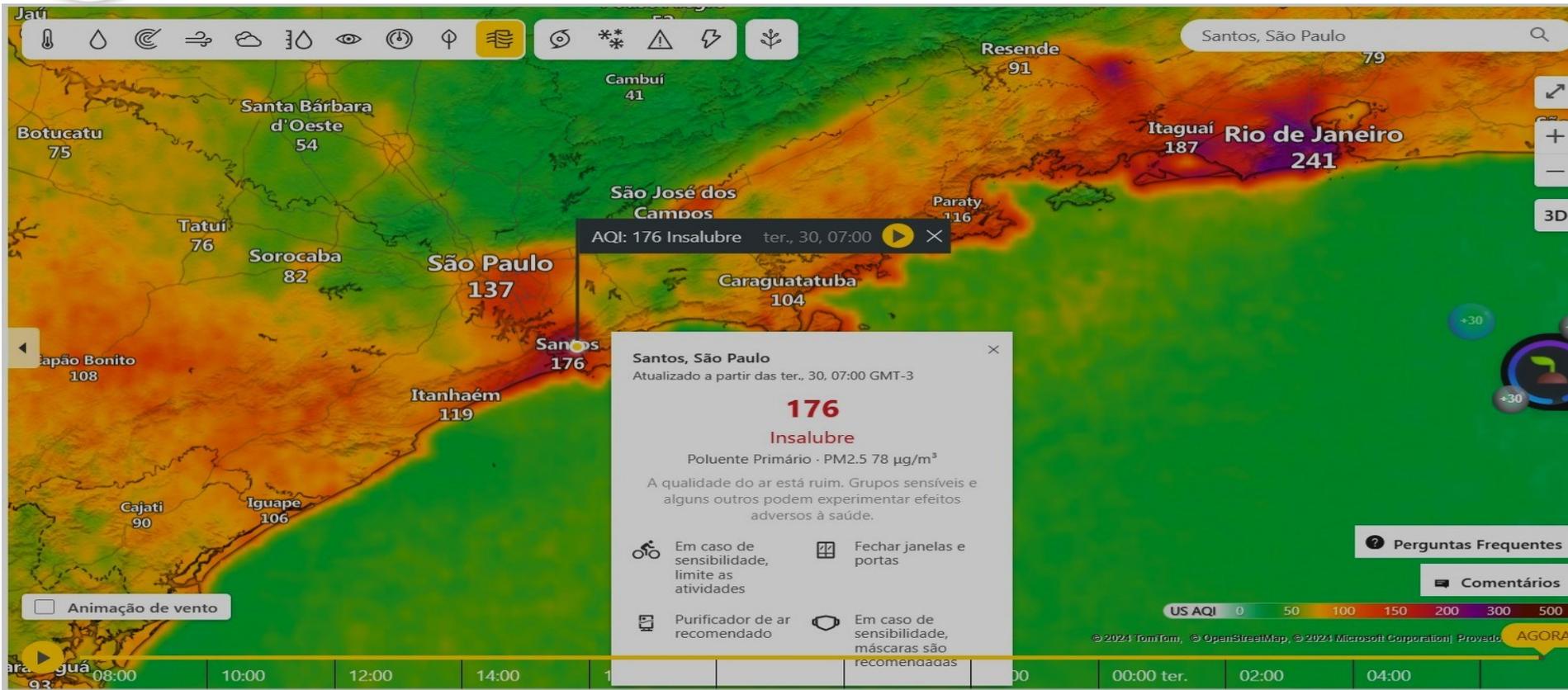


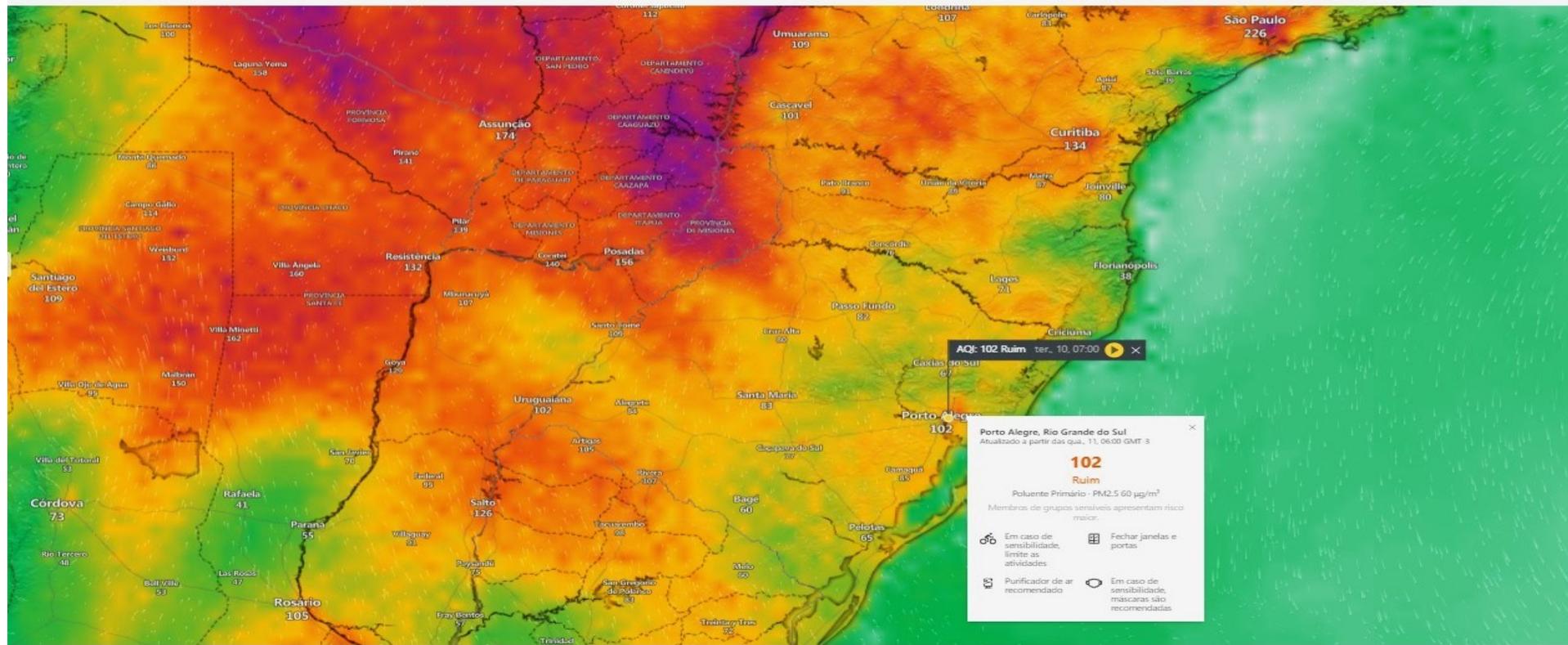
Cidade do Mexico

ar insalubre adensamento urbano @intensa
queima de combustíveis fósseis, regiões com
recomendação do uso de purificadores de ar.



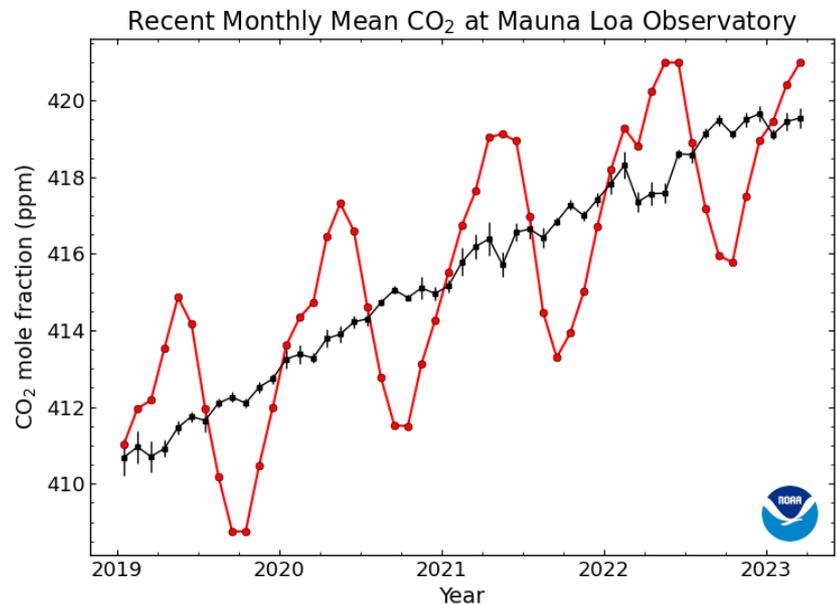
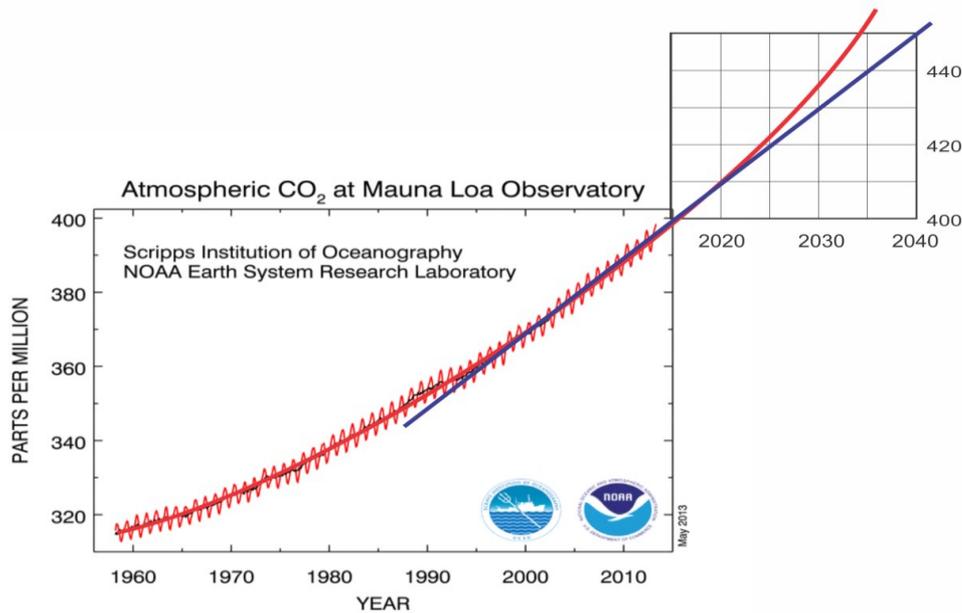
SÃO PAULO – RIO DE JANEIRO





[CO₂] EM 2017 = 318 ppm

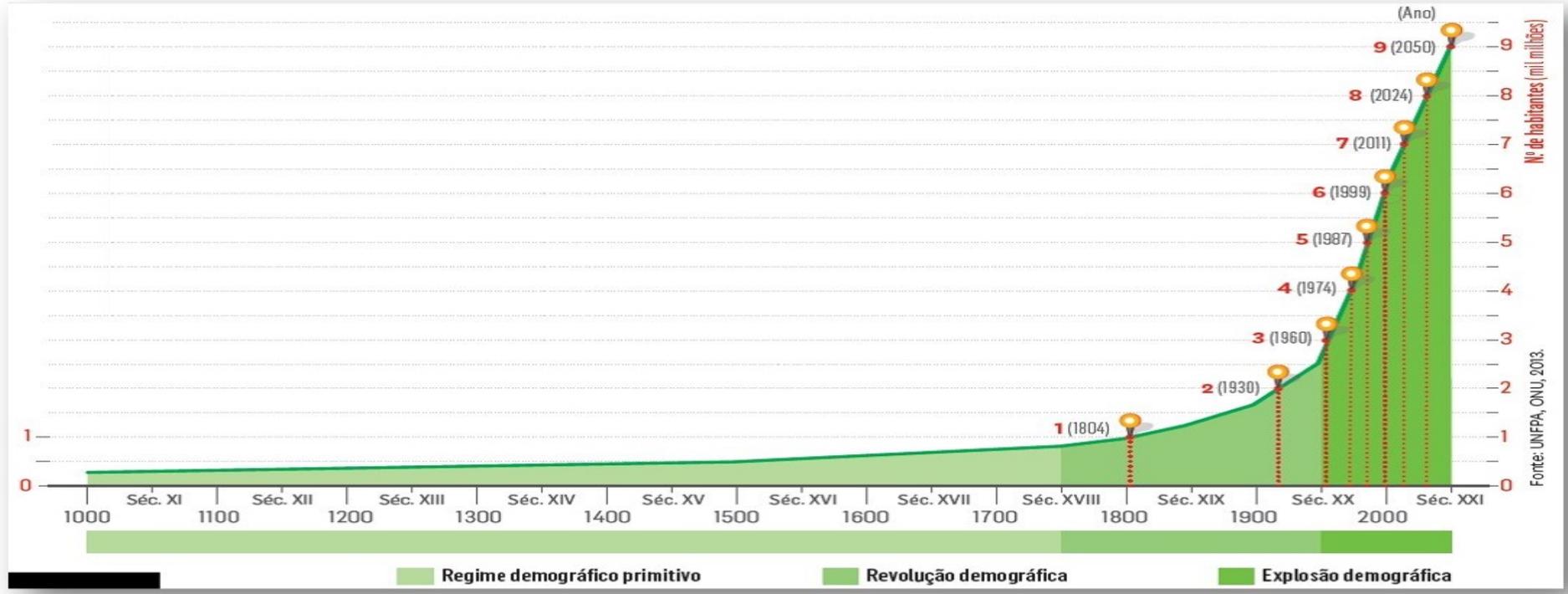
- AVAC-R são aplicados na nova realidade da curva da concentração de CO₂ na atmosfera, a tangente mudou, reduzindo ainda mais o ciclo de uso do ar climatizado às custas de energia, ou seja 99,9% da massa do ar será descartada pela presença de 0,12% (1200 ppm) CO₂,



O Petróleo não é o unico culpado

- Com a maior expectativa de vida, evolução da medicina, abundância de alimentos e a paz relativa dos últimos 50 anos explica a explosão demográfica com a projeção de 9 bilhões de seres humanos em 2050 que “funcionam” 24 h/dia emitindo um carga carbônica (“carbonic load”) à razão de cerca de 300g de CO₂/8h/pessoa, em nível de atividade laboral moderado, ou seja 9 milhões de toneladas de CO₂ por dia que com o perfil da curva podemos inferir que a população do planeta também tem forte contribuição nos níveis desse gás na atmosfera.

Curva demográfica da população mundial



TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DO AR

- Atualmente pode-se estabelecer, de forma customizada, a qualidade do ar interno nos aspectos de concentração de CO₂, VOC, PM_{2,5} e O₃ em adicional as variáveis tradicionais de temperatura, umidade e velocidade do ar, estas vinculadas a sensação de conforto e bem estar.
- Agora os projetistas de sistemas de AVAC-R devem estar mais ciosos de suas responsabilidades em se adaptar a essa radiometria do ar que revela a necessidade de se lançar mão de tecnologias atuais na garantia da qualidade físico-química-biológica do ar em ambientes internos.



Air conditioning is the control of the humidity of the air by either increasing or decreasing its moisture content. Added to the control of the humidity are the control of temperature either by heating or cooling the air, the purification of the air by **washing or filtering** the air, and the control of air motion and ventilation

Dr. Willis Carrier

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DO AR

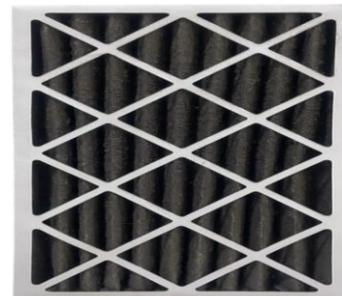
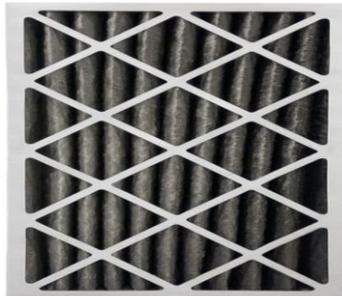
- Migração de **tecnologias industriais de controle de poluentes**, como a **filtragem líquida** promovida por lavadores de gases, “scrubbers” e precipitadores hidrodinâmicos como uma **opção de primeira seleção** em função da elevada **eficiência** alcançada em **material particulado micrométrico** como os antropogênicos **PM_{1,0}** capazes de alcançar os alvéolos pulmonares, **químicos** como o **CO₂**, **COVs** e os **NO_x**, e ativos **biológicos** como **vírus e bactérias** que mostraram a vulnerabilidade dos sistemas AVAC-R durante a pandemia do COVID.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR

- As recentes **publicações** na **ANSI/ASHRAE** standard 62.1(2022), Position Document on Filtration and Air Cleaning (2015), e Positions on Infectious Aerosols (2022), assim como nas **EN13779:2012**, sobre a **qualidade do ar**, nos causa **perplexidade** o fato de **não** haver nenhuma única **citação** acerca de tecnologias de **tratamento de particulados, gases e aerossóis por rota úmida**.
- Na revisão da **NBR16401** existe a **previsão** de uso de **tecnologias por rota úmida para filtragem líquida do ar**, inclusive em arranjos sem filtros mecânicos que apesar de universalmente difundidos, tem eficiência inicial de apenas 60% da eficiência nominal na partida de seu ciclo de uso, elevando-se até a nominal.
- As **publicações mais recentes**, numa resposta ao combate de ativos biológicos pós-COVID, **citam tecnologias ativas** como ozonólise, emissão UV-C, foto catálise, filtros eletrostáticos e adsorção como o carvão ativado.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR

- A publicação da ASHRAE- **Position Document on Filtration and Air Cleaning** (2021), cita no sumário da última revisão do documento:
- Os **filtros mecânicos** evoluíram muito nas últimas décadas com melhorias estruturais de suas molduras que impedem fugas de ar, matérias tipo TNT (“no woven”) mais eficientes e montagem plissadas que aumentam área de filtragem.
- Evidências empíricas modestas mostram que seu uso terá **efeitos positivos sobre saúde**.



Av . Paulista, 23 andar : Filtro novo início de campanha ($\eta \geq 60\%$), com 30 dias de uso e

com 90 dias de uso, onde η é a eficiência nominal do filtro.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR

- Demonstrou-se **filtros eletrônicos** variam de relativamente ineficazes a muito eficazes na remoção de partículas transportadas pelo ar em ambientes internos.
- **Purificadores de ar absorventes** que demonstraram reduzir substancialmente as concentrações de contaminantes gasosos.
- Demonstrou-se que Tecnologias de **oxidação fotocatalítica** removem contaminantes nocivos, ser ineficaz na remoção de contaminantes e/ou gerar contaminantes nocivos durante o processo de purificação do ar. Não há dados sobre como seu uso afeta a saúde.
- Foi demonstrado que a **energia germicida ultravioleta (UV-C)** inativa vírus, bactérias e fungos. Alguns estudos mostraram que as tecnologias de limpeza do ar usando desinfecção UV-C produzem efeitos benéficos à saúde. Há também estudos que falharam em detectar benefícios para a saúde.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR

- Muitos tipos de **purificadores de ar** autônomos tipo “In Room” usando combinações de tecnologias de purificação de ar estão disponíveis. Dados científicos abordando os efeitos desses purificadores de ar em saúde são escassos e inconclusivos.
- Os dispositivos que usam a reatividade do **ozônio** para limpar o ar **não devem ser usados em espaços ocupados**. Extrema cautela é necessária ao usar dispositivos nos quais o ozônio não é usado para fins de limpeza do ar, mas é emitido involuntariamente durante a limpeza do ar processo como um subproduto de sua operação.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR: **DICA DIVINA DO CRIADOR.**

- Desenvolvimentos e **melhorias** de dispositivos de filtragem e limpeza de ar são enfaticamente detalhadas e recomendadas, a **rota úmida não é sequer vislumbradas ou citada** em quaisquer um dos **fóruns técnicos americanos ou europeus** e todos sabemos que após uma **precipitação pluviométrica o ar fica limpo.**
- **Tecnologias do campo industrial**, consagradas pela literatura, como a lavagem do ar por aspersão líquida, fluxo turbulento ou centrifugação são amplamente empregadas no **controle dos mesmos poluentes** em condições muito mais adversas de temperatura e concentração.
- O tratamento do ar por **via úmida refrigerada** assegura a qualidade do ar e permitir a redução nas taxas de ventilação do ar externo, devido a **redução drástica do teor de CO₂**, responsável em grande parte pela necessidade de **taxas elevadas de ar externo** nos sistemas de climatização das edificações.

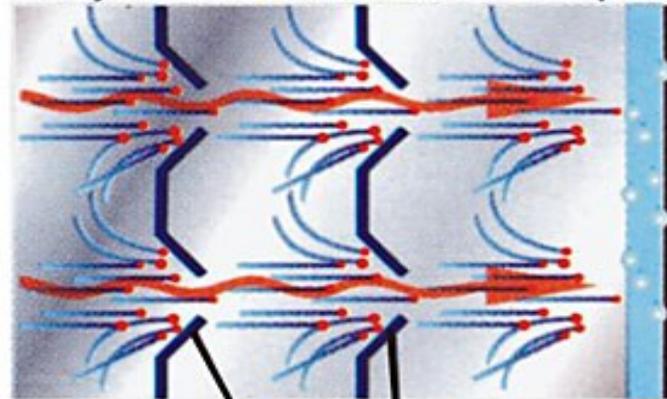
TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR: **ROTA ÚMIDA**

- A **eficácia dos depuradores de ar via úmida** em atingir elevada eficiência na remoção de contaminantes está diretamente vinculada ao meio **mecânico de contato entre os fluidos** em fases distintas, e para alcançar este efeito sinérgico são usados os **lavadores de gases** (“scrubbers”) por aspersão em contracorrente, **lavadores tipo Venturi** com elevada sinergia de contato em garganta constrita e **precipitadores hidrodinâmicos**, equipamentos autoaspirantes que consorciam o efeito Venturi com a força centrífuga.
- Tratam-se de **reatores dinâmicos** que promovem **eficientes reações de neutralização e arraste hidráulico** de partículas, principalmente quando operados com **liquido alcalino refrigerado**.

PRECIPITADOR HIDRODINÂMICO: SINERGIA TRANSFERÊNCIA DE MASSA E ENERGIA.



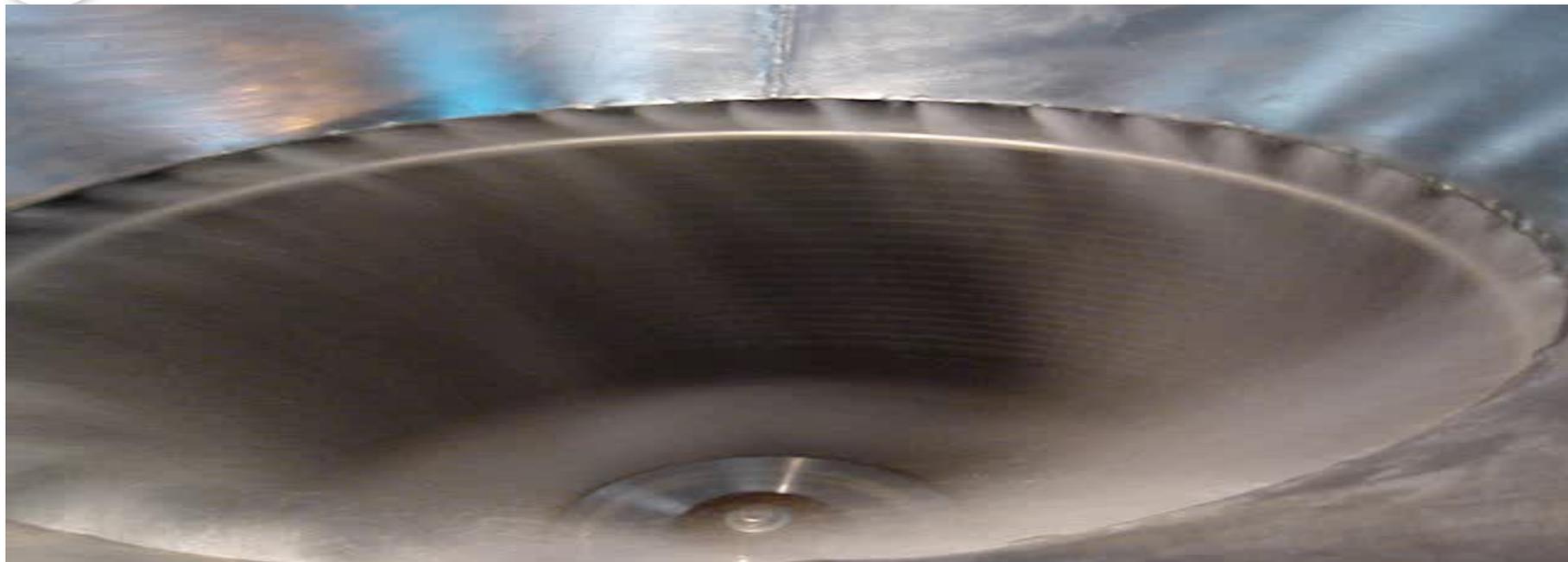
Mixação MULTIVENTURI de Gás e Líquido



**Detalhe do
Rotor Interno
com orifícios
MULTIVENTURI®**

**Superfície
Externa
do Precipitador
Hidrodinâmico**

OPERANDO GÁS - LÍQUIDO



ROTA ÚMIDA TECNOLOGIA CCT- “CARBON CAPTURE TRANSFORM”

- Ensaios comprovam a capacidade da **rota úmida** em **extrair** do fluxo de ar os **agentes biológicos aerotransportados**, como **fungos, bolores, vírus e bactérias** em níveis muito relevantes e a operação com **líquido alcalino** (pH=7,5) assegura a **dissolução da capa protetora** de LPS (lipopolissacarídeos) dos microrganismos que assim são neutralizados: **Barreira Biológica eficaz** no controle e **redução** das taxas de **contaminação respiratória** por esses microrganismos.
- **Marcador químico** da qualidade do ar, **dióxido de carbono CO₂**, promove-se sua maior **solubilização** no mesmo **líquido alcalino refrigerado**, alcançando assim sua **conversão** em um sal solúvel pela lavagem do ar. O **Gás** se transforma num **sólido dissolvido**.
- **Captura e Transformação de Carbono**, onde o **gás CO₂** é transformado em um sólido solúvel de bicarbonato de sódio, ou seja, **atuamos na composição do ar** a ser insuflado na edificação de maneira a **estender o ciclo de uso** do ar pois a **carga carbônica** foi **reduzida** juntamente com demais contaminantes, promovendo a **redução do consumo de energia** pela menor **Vazão** na tomada de **ar externo** requerida.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE AR case SHOPPING LEBLON-RJ

- O grande diferencial da rota úmida atua em todas as tipologias de **contaminantes** inclusive para sais dissolvidos na umidade típica de zonas costeiras onde a tomada de ar externo torna elegível apenas estes tipos de equipamento visando a **confiabilidade operacional** e a **preservação patrimonial**.



Ar externo urbano costeiro
Cenário TAE-



Filtragem líquida refrigerada
precipitador hidrodinâmico refrigerado



Ambiente pressurizado com ar controlado
físico-químico e termohigrométrico.
ambiente interno.

METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO: case SHOPPING LEBLON-RJ

- Amostrador 3RBrasil-FAPERJ com sensores de medição em **três módulos dedicados**: um para medição da concentração de particulados ($PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$, $PM_{4,0}$ e PM_{10}), para medição de CO_2 e medição de **temperatura, umidade, pressão atmosférica**.
- A medição de particulados através da contagem óptica de partículas é baseado em **espalhamento de laser**, sendo as grandezas $PM_{4,0}$ e PM_{10} estimadas e as grandezas $PM_{1,0}$ e $PM_{2,5}$ efetivamente medidas.
- A medição de **concentração de dióxido de carbono** é baseada no método de **espectroscopia não dispersiva em infravermelho de alta exatidão**, sensor de opera na faixa de 0 a 40.000ppm CO_2 (± 50 ppm).
- A medição de **temperatura, umidade e pressão atmosférica** é um sensor que tem sua melhor capacidade de medição estimada de $\pm 0,12$ hPa para pressão atmosférica absoluta, ± 3 % U.R. e ± 1 C para temperatura.

METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO : **case SHOPPING LEBLON-RJ**

- Num **ensaio efetivo de campo**, em **2023**, numa instalação com Precipitador Hidrodinâmico implantada em 2017 num Shopping Center para extrair a névoa salina do ar que provocou corrosão dos medidores consumo elétrico do empreendimento = apagão em pleno horário comercial.
- A instalação além de **qualifica nos aspectos físico-químico** tem controle termo higrométrico, sendo aplicado um banco de resistências e um evaporador secundário na linha de forma a garantir, ao longo de todo ano e sob quaisquer condição climatológica, o **set up de projeto: 24°C e 55% U.R.**

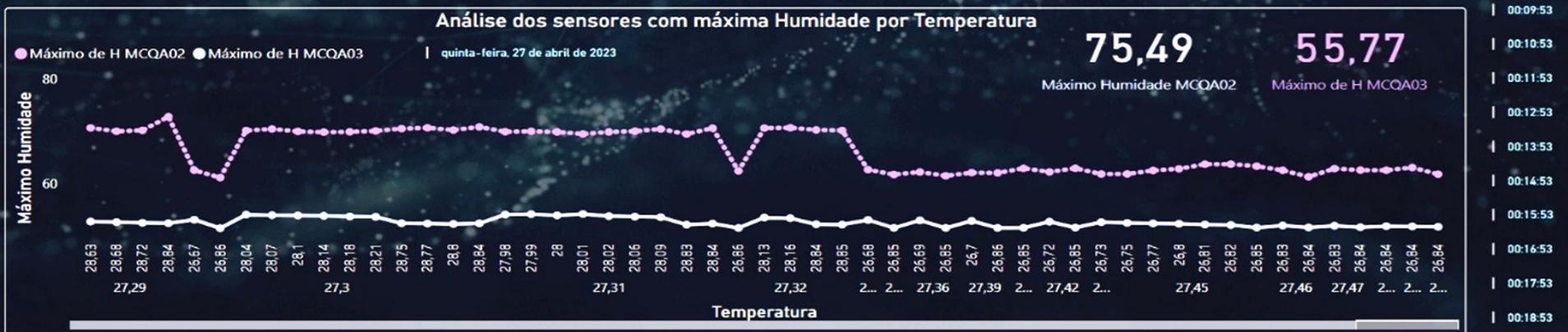
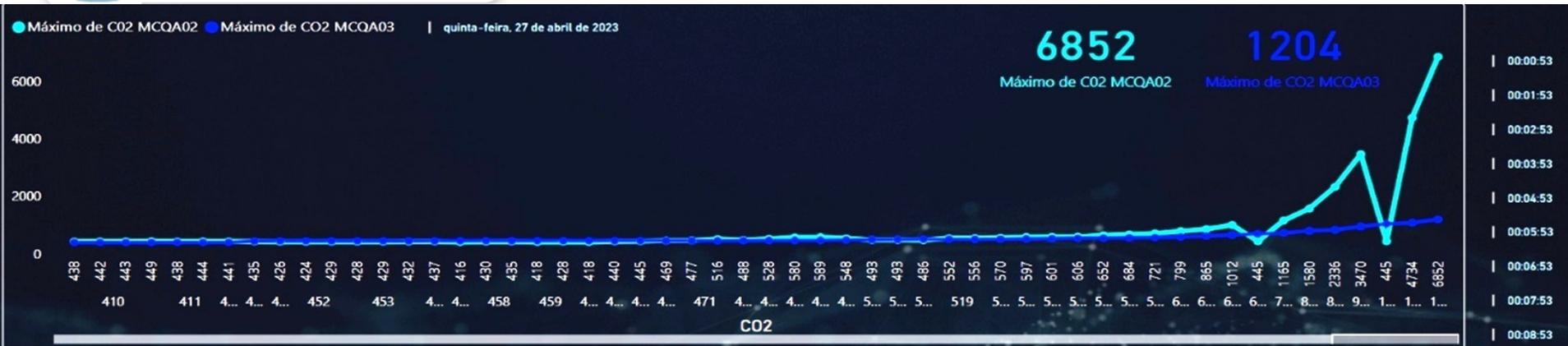
METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO : **case SHOPPING LEBLON-RJ**

Dois amostradores contínuos e sincronizados, um na tomada de ar externo e o outro no ambiente beneficiado, e após 12 dias de extrema estabilidade dos dados, face à reduzida incidência de poluentes na região, optamos por gerar na última hora de medição, a simulação de **cenário extremo** com vista a **caracterizar** o abatimento de **material particulado** e **dióxido de carbono**.

Descarregamos um **cilindro de dióxido de carbono de 10 kg** na entrada da grelha ambiente da casa de máquinas, local que não recebe limpeza contendo elevadas quantidades de poeira; formou-se instantaneamente uma **nuvem concentrada de material particulado suspenso pelo CO2** aspergido sob pressão que foi **processado em fluxo pelo precipitador hidrodinâmico** que capta o ar do local, com os resultados de picos no gráfico.

A Figura demonstra a estabilidade e a perturbação provocada, quando se alcançou valores de **6852 ppm de CO2 no sensor de entrada** e simultaneamente **1204 ppm no ambiente interno**, comprovando **redução de 82,4%** confirmada por laudo da GHS que mostrou a elevação de 166 % no teor de carbonatos no líquido circulante. Cabe registrar que o dióxido de carbono é mais solúvel no líquido alcalino refrigerado. A umidade estável, com histórico de controle de 6 anos.

METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO: case SHOPPING LEBLON-RJ

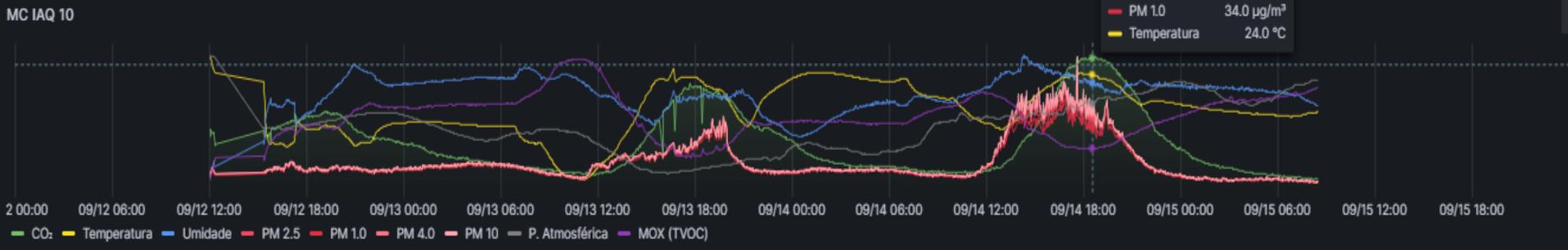
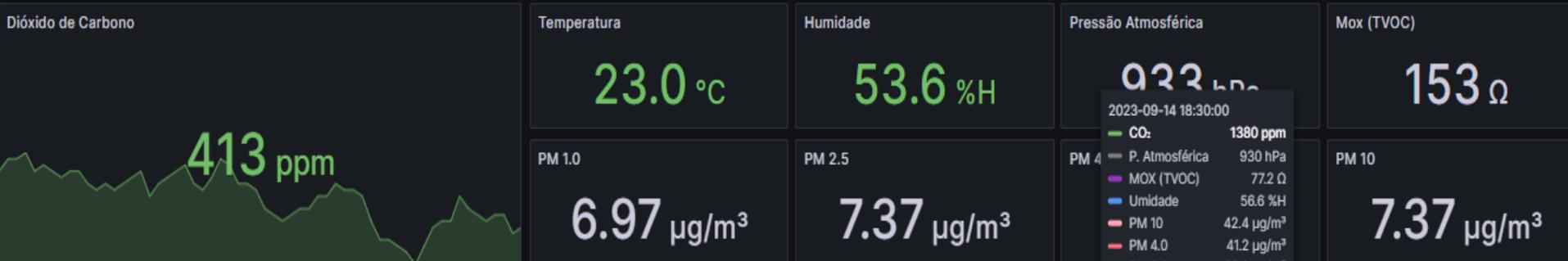


METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO: case SHOPPING LEBLON-RJ

- A análise dos líquidos inicial e final do precipitador hidrodinâmico demonstra um incremento do teor inicial de carbonatos de 14,9 mg/l que alcançou 39,7 mg/l, incremento de 166 % como CaCO_3 , enquanto o pH passou de 7 para 7,99 e a condutividade elétrica de 132,5 para 153 $\mu\text{S}/\text{cm}$ demonstrando incremento de íons salinos no período.
- Na figura abaixo temos o comportamento do material particulado extraído hidraulicamente com resultados impressionantes de 98,41% de redução para PM_{10} , e os resultados de pico para $\text{PM}_{2,5}$ alcançou 97,7% e para $\text{PM}_{1,0}$ significativos 94,8% valor que eleva a tecnologia de tratamento do ar pela rota líquida ao nível equivalente mínimo de uma filtragem mecânica F9(85-95% $\text{PM}_{2,5}$).

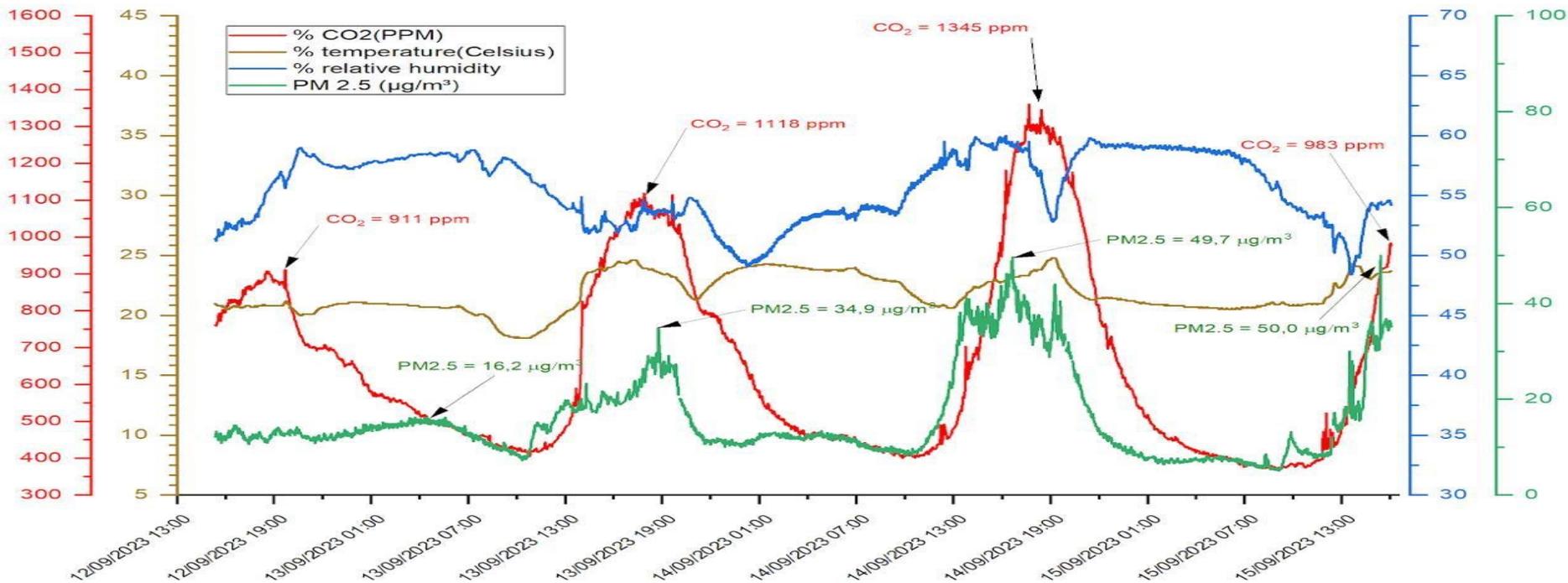
METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO : case FEBRAVA 2023

▼ MC IAQ 10



FEBRAVA 2023 MONITORAMENTO CONTÍNUO

3R-IAQ 10



METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO : **case FEBRAVA 2023.**

- Durante quatro dias de um evento, com cerca de 25000 visitantes, temos a radiometria que demonstra a partida inaugural das medições com índices dentro dos padrões de qualidade do ar no período pré-evento e na sequência a oscilação senoidal conforme o horário de afluxo dos visitantes alcançando valores muito superiores aos recomendados do nível de material particulado e CO₂ com característica de pico as 18:00 horas e amplitude máxima crescente principalmente para PM em função de um efeito cumulativo de suspensão da poeira dos tapetes dos corredores de transito dos visitantes.
- Ao final da exposição coletamos amostras do líquido circulante no precipitador hidrodinâmico nos quatro dias do evento que foram analisadas e comprovaram a transformação do dióxido de carbono CO₂ pela formação de carbonatos com concentração de 2424 mg/l, foi ainda certificado a inatividade biológica com índices de bactérias como 450 UFC/ml e fungos na faixa de 390 UFC/ml, ambos típicos de água potável.

METODOLOGIA E AMOSTRAGEM DE CAMPO : **case FEBRAVA 2023.**

- Concentração de $PM_{2,5}$ de $44,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NBR16401 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)foi alcançada no terceiro dia, com o CO_2 atingindo 1302 ppm, mesmo tratando-se de uma instalação de grande porte (850.000 m^3) com 17 m de altura e com climatização moderna.
- Constata-se que todos os estágios de filtragem mecânica foram **insuficientes** para assegurar um ar dentro dos parâmetros de **qualidade** preconizados pela sociedade atual tão traumatizada pela pandemia de COVID 19.

CONCLUSÃO

- A **evolução dos sensores** de monitoramento da **qualidade do ar** com tecnologia ótica à laser permitiu rápidas avaliações, com geração de series históricas em tempo real e contínuo para cenários distintos, colaborando de sobremaneira na **validação da tecnologia de filtragem líquida** dos depuradores por **rota úmida**.
- Ensaio reais com os monitores da 3RBRASIL caracterizaram a **eficiência em nível elevado para PM_{2,5}, CO₂** e o laudo da GHS os demais alergênicos e ativos biológicos como atestado pela análise do líquido circulante após 4 dias de evento em uso contínuo, **sem gerar descartáveis e mantendo performance constante**.

CONCLUSÃO

- Nossa perspectiva agora a partir do patamar alcançado em ambientes públicos de porte associado ao **desafio global de descarbonização** da atmosfera é de aplicar a **tecnologia da filtragem líquida** tratando uma fração do ar de retorno do **sistema de climatização** de forma a interagir na **depuração do ar “usado”** removendo os **contaminantes internos gerados** pelos ocupantes de forma a demonstrar a redução do consumo de energia e a melhora significativa da qualidade do ar interno com uma **menor necessidade de vazão de ar externo**.
- Como demonstramos **1200 ppm de concentração de CO2** impõe atualmente no expurgo de 99,88% do saldo da vazão de expurgo do ar que ainda contem mais de 20,88% de oxigênio utilizável de forma segura ate 19% de O2.
- Em breve iremos **gerenciar o QAI** pelo monitoramento do **CO2 presente** e do **O2 disponível** na atmosfera interna do ambiente.

CONCLUSÃO

- **Outro desafio** que estabelecemos é o de desenvolver um protocolo que correlacione as **taxas de infecção hospitalar** que pode alcançar o alarmante percentual de 4,5% até 14% dos internados, com incidência significativa da contaminação aérea e a redução factível com a **conjunção** do conceito “**down draft**” de exaustão nas paredes junto ao piso e insuflação de ar tratado por cima, com a depuração do ar externo e 20% do retorno pela **Rota Úmida dos Precipitadores Hidrodinâmicos** .
- Essas frentes de pesquisa contribuem para viabilizar numa análise de amplo espectro que o argumento da **elevação umidade da rota líquida** inviabiliza seu emprego haja vista que o espectro de umidade relativa foi alargado(60% OMS) e até as **mudanças climáticas** tem obrigado em certos períodos a umidificarmos o ar para alcançar o conforto, e o **objetivo primaz** que passou a ser a **qualidade do ar com conforto termo higrométrico**.



GRAZIE MILE !! QUESTIONE ?

DOMENICO CAPULLI 21 98556 0765
diretoria@veltha.com.br