



**EXA Group**  
Energy and Environmental  
Simulation



**PPGCIS**  
Programa de Pós-Graduação em  
Cidades Inteligentes e Sustentáveis  
**PPGEM**  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica



**UNIVERSITÉ  
SAVOIE  
MONT BLANC**



**LOCIE**

## IEA-EBC Anexo 86

### Ventilação Inteligente para Ambientes Saudáveis e Eficientes

Participação brasileira no  
[Anexo 86](#) da Agência  
Internacional de Energia (IEA)  
**2020-2025**

Daniela Mortari  
Denner Ribeiro Machado  
Marcos Batistella Lopes  
Nathan Mendes (coordenador)

Curitiba, 6 de Agosto de 2025



Empresa Brasileira  
de Participações  
em Energia Nuclear  
e Binacional

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# Conteúdo

- Contextualização
- Panorama do Anexo 86
- Anexo 86 / ST4 - Brasil
- Publicações
- Perspectivas

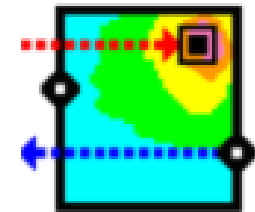
## PPGCIS



## PPGEM



Domus



Contam

# Contextualização

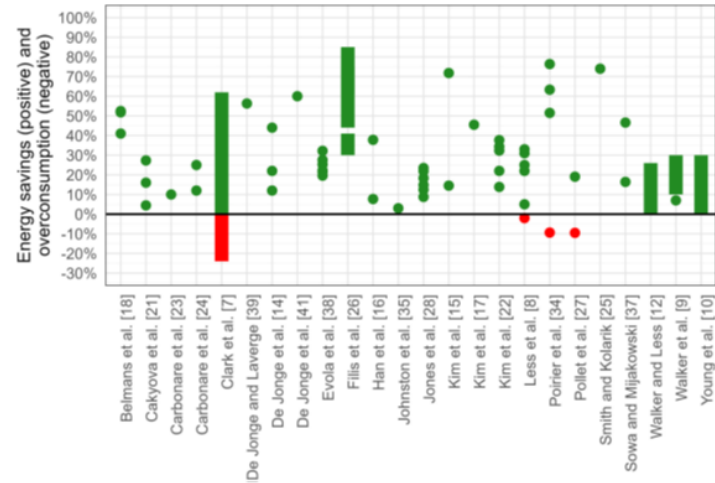
- A crise do petróleo da década de 1970 levou ao foco na vedação das edificações, o que contribuiu para a degradação da Qualidade do Ar Interno (**QAI**).
- Necessidade de **aumentar a eficiência energética sem comprometer a QAI**.
- Passamos entre **60% e 90% do nosso tempo** em ambientes internos e respiramos, em média, **10 mil litros de ar** por dia.
- O ar interno pode estar até **5 vezes mais poluído** que o ar externo e, segundo a OMS, **7 milhões de pessoas** morrem por ano devido à poluição do ar.
- **Doenças respiratórias** e **eventos climáticos extremos** estão associadas à degradação da QAI.
- **Ventilação inteligente** = Energia + QAI

# Contextualização

Ventilação inteligente = Energia + QAI

## Energia

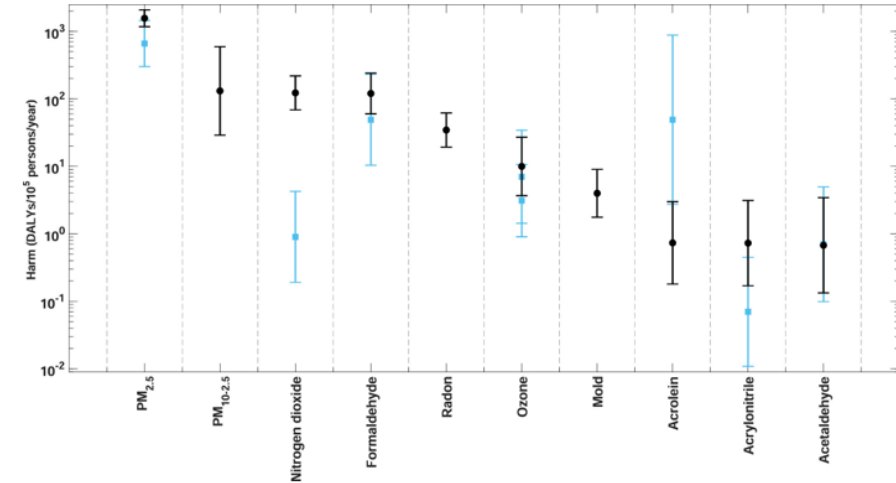
Consumo energético de simulações de sistemas de ventilação inteligente em edificações residenciais:



[Mortari et al. \(2025\)](#)

## QAI

10 contaminantes internos de maior potencial nocivo em residências:



[Morantes et al. \(2024\)](#)

# Panorama do Anexo 86

## Ventilação inteligente em edificações residenciais

Grupo	Subtarefa (ST)
Metodologia	ST1 - Métricas e Desenvolvimento de um Método de Classificação de Estratégias de Gestão da Qualidade do Ar Interno
	ST2 - Caracterização de Fontes Emissoras e Padrões de Exposição em Edificações Residenciais ( <a href="https://db-pandora.univ-lr.fr/">https://db-pandora.univ-lr.fr/</a> )
Aplicação	ST3 - Materiais Inteligentes como Estratégia de Gestão da Qualidade do Ar Interno ( <a href="https://annex92.iea-ebc.org/">https://annex92.iea-ebc.org/</a> )
	<b>ST4 - Assegurando o Desempenho de Sistemas de Ventilação Inteligente</b>
Tecnologia	ST5 - Economia de Energia e Melhoria da Qualidade do Ar Interno com Validação por Meio de Dados em Nuvem e Dispositivos Conectados à Internet das Coisas (IoT)
Disseminação	ST6 - Disseminação, Gerenciamento e Engajamento

<https://annex86.iea-ebc.org/>

# Panorama do Anexo 86

## Equipe



Nathan Mendes  
Coordenador  
nathan.mendes@pucpr.br



Daniela Mortari  
Pesquisadora de Pós-doutorado  
danielamortari@yahoo.com.br



Denner R. Machado  
Pesquisador de Doutorado  
denner\_ribeiro@yahoo.com.br



Gaëlle Guyot  
Líder da ST4 do Anexo 86  
gaelle.guyot@cerema.fr



Marcos B. Lopes  
Professor assistente  
batistella.marcos@pucpr.br

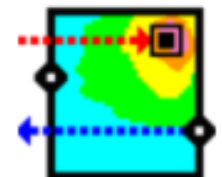
# Anexo 86 / ST4 - Brasil

- Objetivos:

- mostrar abordagens usando indicadores para avaliar o desempenho de estratégias de ventilação inteligente em diferentes países.
- comparar as estratégias inteligentes com as estratégias tradicionais.

- Caso de simulação para:

- análise de desempenho das estratégias de ventilação.
- utilizar os indicadores de desempenho e os métodos.



# Anexo 86 / ST4 - Brasil

## ○ Indicadores de desempenho:

1. DALYs (Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade)
2. Porcentagem de tempo fora da faixa entre 25% e 60% de umidade relativa
3. Exposição acumulada do ocupante
4. Exposição aguda máxima do ocupante em 1h
5. Taxa de ventilação
6. Consumo energético

QAI

$$1. \quad E_{RH} = \frac{100}{d} \sum_{t=0}^{t=d} \Delta t \begin{cases} \text{se } \phi(t) > 60\% \\ \text{se } \phi(t) < 25\% \end{cases}$$

$$2. \quad DALYs = \sum_{i=0}^{i=n} EF_i \times V_{br} \times \int_{t_0}^t C_i(t) dt$$

$$3. \quad E_{poluente} = \sum_{t=0}^{t=d} C_{poluente} \Delta t$$

$$4. \quad E_{poluente, agudo} = \max \left( \sum_{t=0}^{t=1h} C_{poluente} \Delta t \right)$$

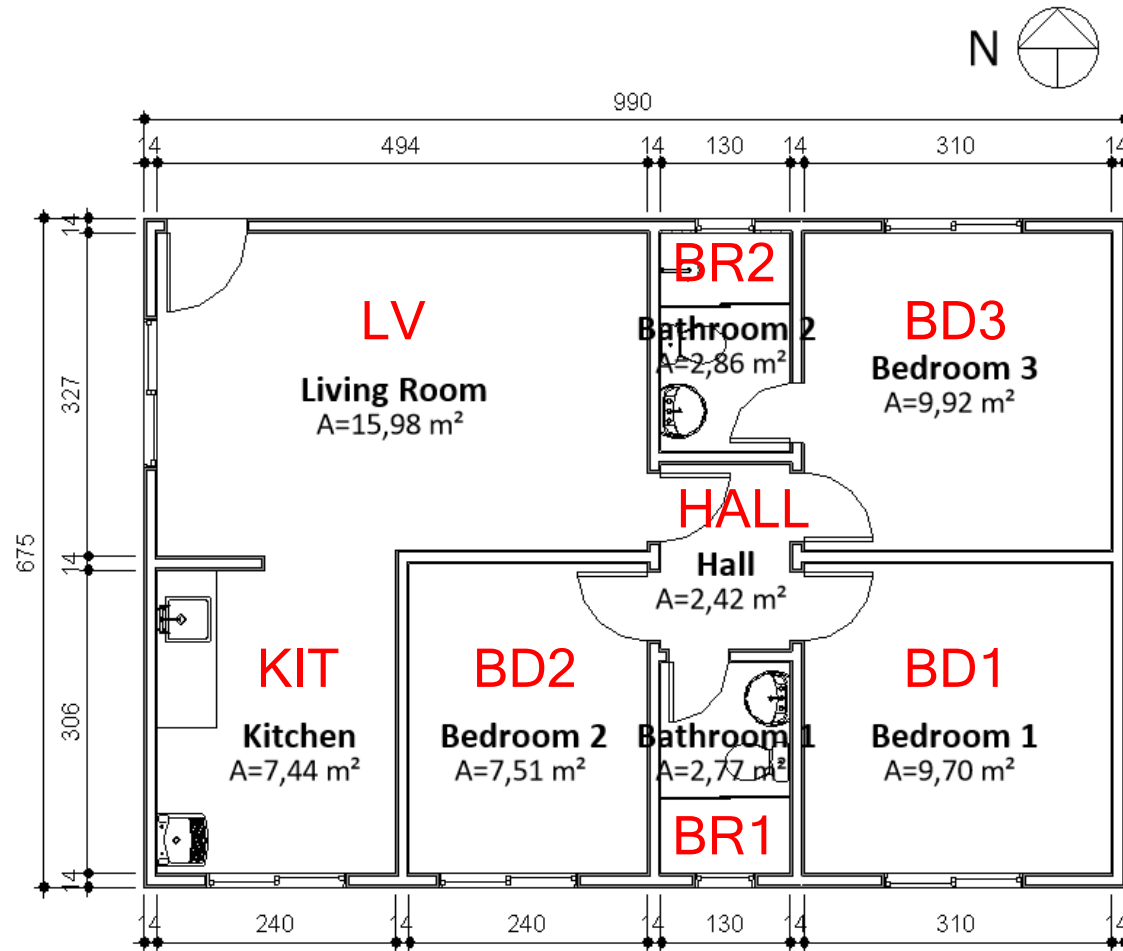
Energia

$$5. \quad ACR = \frac{Q}{V}$$

$$6. \quad \dot{W}_{fan}(t) = \dot{W}_{fan} \dot{W}_{nominal}$$
$$q_{heat\_loss} = C_{pm} \dot{m} (1 - \varepsilon_{heat\_exchanger}) (T_{in} - T_{out})$$



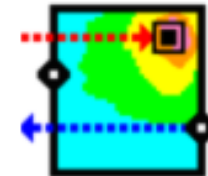
# Anexo 86 / ST4 - Brasil



**FLOOR PLAN**

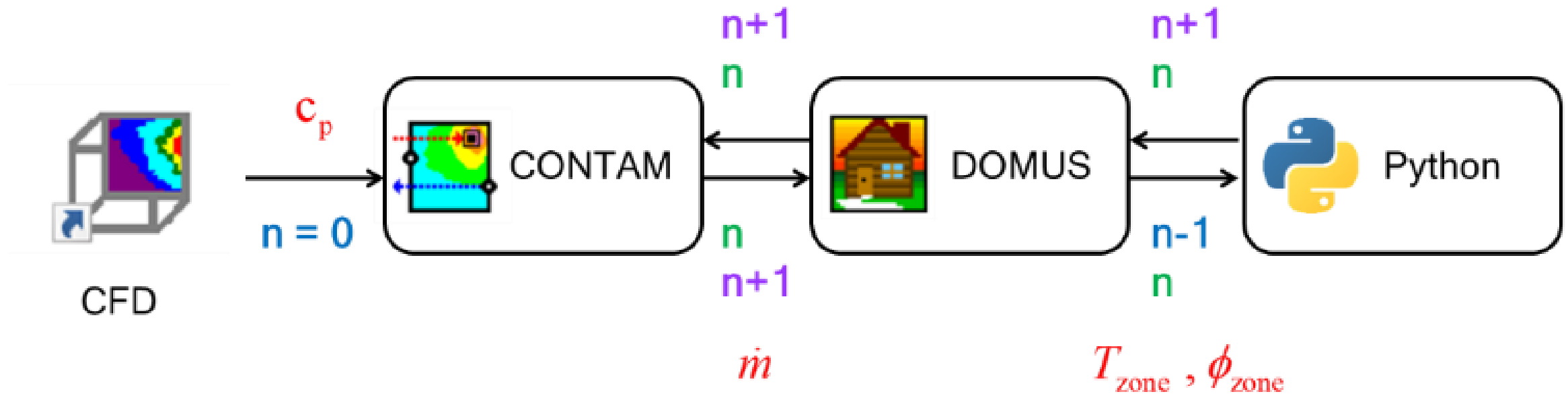
AREA: 66,82m²

- Estudo de caso brasileiro: “Minha Casa, Minha Vida” ([Morishita, 2020](#))
- Software: Domus-Contam



# Anexo 86 / ST4 - Brasil

## Co-simulação Domus-Contam



## Formulário com Condições Iniciais & Condições de Contorno das simulações:

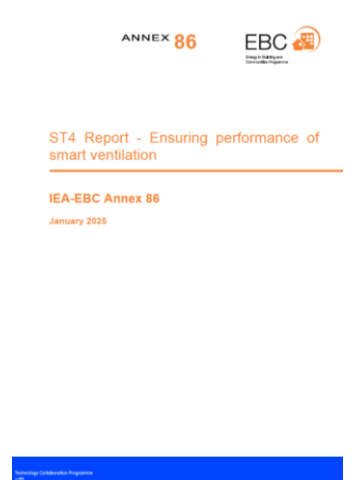
[a] Datos de entrada

## [b] Modelagem

### [c] Estratégia de ventilação

## [d] Feedback qualitativo

# Publicações



LOPES, M. B. et al. Avaliação da qualidade do ar interno de residências brasileiras com sistemas de ventilação inteligente. **Revista Brasindoor**, v. VI, n. 1, p. 28-40, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.29327/2410885.6.1-3>

LOPES, M. B. et al. A numerical and experimental study to compare different IAQ-based smart ventilation techniques. **Buildings**, 14, 3555, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113555>

MORTARI, D. et al. Smart ventilation in residential buildings: a systematic review of control strategies and their effectiveness. **Journal of Building Engineering**, 112584, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112584>

GUYOT, G. et al. **ST4 Report - Ensuring performance of smart ventilation**, IEA-EBC Annex 86, 2025.

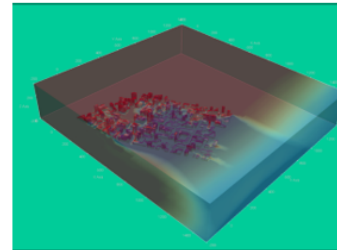
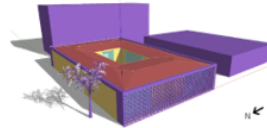
# Perspectivas

## Co-simulação

Anexo 97: Soluções Sustentáveis de Resfriamento em Ambientes Urbanos



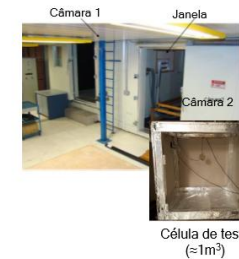
OpenFOAM



ENBPar: A importância da eficiência energética em edificações para mitigação de riscos relacionados a problemas de ilhas de calor urbano

## PUC-PR Curitiba

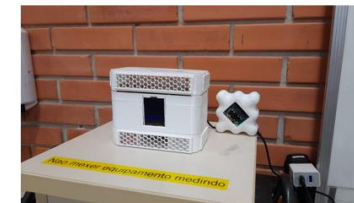
Calorímetro



Estação meteorológica



## SmartVent



Monitor da QAI com lot



Protótipo

# Muito obrigado



## PPGCIS

Programa de Pós-Graduação em  
Cidades Inteligentes e Sustentáveis

## PPGEM

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica



## EXA Group

Energy and Environmental  
Simulation



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL



Empresa Brasileira  
de Participações  
em Energia Nuclear  
e Binacional

## Dúvidas?

EXA Group  
[exa@pucpr.br](mailto:exa@pucpr.br)