

# Clima e Consumo HVAC

## Integração de Sistemas de Informação

ENRIQUE RODRIGUES N°28602

*Instituto Politécnico do Cávado e do Ave*

13 de outubro de 2025

**Palavras-chave:** Node-RED, Pentaho Kettle, Integração de Dados, IoT, Simulação, HVAC, Modelação Térmica, ETL, Python, pandas, matplotlib

# Índice

<b>1</b>	<b>Enquadramento</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Problema</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Estratégia Utilizada</b>	<b>4</b>
3.1	Aquisição e Simulação (Node-RED) . . . . .	4
3.2	Modelação Matemática das Variáveis Simuladas . . . . .	4
3.3	Transformação e Enriquecimento (Pentaho Kettle) . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Transformações e Jobs (Pentaho)</b>	<b>6</b>
4.1	Transformações . . . . .	6
4.2	Jobs . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Análise e Visualização (Python)</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Vídeo com Demonstração</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	<b>9</b>

# 1 Enquadramento

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um pipeline de dados completo para recolha, transformação e análise de variáveis ambientais, nomeadamente: temperatura exterior, temperatura interior simulada e consumo energético de um sistema HVAC.

O sistema é composto por três módulos principais:

- **Node-RED:** aquisição de dados e simulação das variáveis ambientais;
- **Pentaho Data Integration (Kettle):** transformação, limpeza, enriquecimento e exportação dos dados;
- **Python (pandas, matplotlib, seaborn):** análise estatística e visualização gráfica dos resultados.

## 2 Problema

A gestão eficiente da climatização em edifícios residenciais e comerciais é um desafio crescente, dada a variabilidade das condições exteriores e o impacto direto no consumo energético. O controlo manual do HVAC ou a falta de monitorização contínua leva a desperdício de energia e a condições de conforto inconsistentes.

O objetivo deste trabalho é demonstrar um pipeline de dados capaz de:

- Recolher temperaturas exteriores via API pública, permitindo monitorização;
- Simular a evolução da temperatura interior e o consumo do HVAC, com base em modelos térmicos iterativos;
- Processar e enriquecer os dados no Pentaho;
- Exportar resultados em CSV e XML para análise posterior;
- Gerar gráficos em Python que permitam avaliar padrões de consumo e identificar oportunidades de otimização energética.

Desta forma, o pipeline não só replica o comportamento térmico de um edifício como também fornece dados estruturados que permitem tomar decisões informadas sobre a eficiência do sistema HVAC.

## 3 Estratégia Utilizada

### 3.1 Aquisição e Simulação (Node-RED)

Os dados de temperatura exterior são obtidos via API REST. A simulação da temperatura interior e do consumo do HVAC é realizada em JavaScript. Cada sala tem parâmetros térmicos próprios ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).

### 3.2 Modelação Matemática das Variáveis Simuladas

Esta secção descreve os modelos utilizados para simular a evolução térmica das divisões e o consumo energético do sistema HVAC. Os modelos foram implementados em JavaScript, correndo em ciclo a partir da temperatura anterior e das condições exteriores obtidas por API. Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  variam por divisão e representam, respetivamente, o grau de isolamento e a capacidade de resposta do sistema de climatização.

#### Evolução da Temperatura Interior

A temperatura interior de cada divisão evolui de forma gradual, aproximando-se da temperatura exterior devido às trocas térmicas do edifício e da temperatura de conforto devido à atuação do HVAC. A equação seguinte modela esta dinâmica:

$$T_{\text{interior}}(t) = T_{\text{anterior}} + \alpha \cdot (T_{\text{exterior}} - T_{\text{anterior}}) + \beta \cdot (T_{\text{conforto}} - T_{\text{anterior}}) + \epsilon$$

**Onde:**

- $T_{\text{interior}}(t)$ : temperatura interior no instante atual;
- $T_{\text{anterior}}$ : temperatura interior no instante anterior;
- $T_{\text{exterior}}$ : temperatura exterior (obtida por API);
- $T_{\text{conforto}}$ : temperatura de conforto (21°C);
- $\alpha$ : coeficiente de isolamento térmico do edifício;
- $\beta$ : coeficiente de correção aplicado pelo HVAC;
- $\epsilon$ : ruído aleatório que introduz variação realista.

Este modelo é iterativo, a cada ciclo de simulação, a temperatura interior é atualizada em função dos valores anteriores. A componente  $\alpha$  controla a velocidade de dissipação térmica (edifícios mais isolados têm  $\alpha$  menor), enquanto  $\beta$  representa a eficiência de regulação térmica do HVAC.

## Consumo Energético do HVAC

O consumo energético é proporcional ao esforço necessário para manter o conforto térmico. Quanto maior a diferença entre a temperatura exterior e a de conforto, maior é a energia necessária para compensar as perdas ou ganhos térmicos. A equação seguinte define este comportamento:

$$P_{\text{HVAC}} = \max \left( 20, 50 + 5 \cdot |T_{\text{conforto}} - T_{\text{exterior}}| + 20 \cdot |T_{\text{interior}} - T_{\text{conforto}}| + \eta \right)$$

Onde:

- $P_{\text{HVAC}}$ : consumo energético instantâneo (W);
- $|T_{\text{conforto}} - T_{\text{exterior}}|$ : esforço devido às condições exteriores;
- $|T_{\text{interior}} - T_{\text{conforto}}|$ : esforço interno para manter o conforto;
- $\eta$ : ruído aleatório para simular variações de carga;
- $\max(20, \cdot)$ : garante um consumo mínimo de 20 W (modo de *standby*).

Este modelo cria uma relação linear simplificada entre o desvio térmico e o consumo energético.

### 3.3 Transformação e Enriquecimento (Pentaho Kettle)

Os dados simulados no Node-RED são posteriormente processados no Pentaho. O objetivo é normalizar os registos, limpar os nomes e derivar métricas adicionais de desempenho térmico.

- **CSV Input:** leitura dos dados gerados pelo Node-RED;
- **Regex Replace:** limpeza e padronização de nomes de dispositivos e salas;
- **Calculator:** criação de variáveis derivadas para análise de eficiência:

$$\text{temp\_diff} = |T_{\text{exterior}} - 21| \quad \text{e} \quad \text{efficiency\_index} = \frac{\text{avg\_power}}{(\text{temp\_diff} + 1)}$$

Estas métricas permitem avaliar o impacto da diferença térmica no consumo e comparar o desempenho entre divisões.

- **CSV/XML Output:** exportação dos dados tratados e enriquecidos.

O resultado é um conjunto de ficheiros estruturados prontos para análise estatística e visualização em Python.

## **4 Transformações e Jobs (Pentaho)**

### **4.1 Transformações**

A transformação inclui leitura, limpeza e criação de novas colunas. Os campos são normalizados e exportados em dois formatos.

### **4.2 Jobs**

O job executa automaticamente as transformações, verifica a existência dos ficheiros de entrada e gera logs de execução.

## 5 Análise e Visualização (Python)

Os ficheiros finais são processados em Python usando:

- pandas ( $v \geq 2.0$ ) para manipulação e agregação de dados;
- matplotlib ( $v \geq 3.7$ ) para gráficos base;
- seaborn ( $v \geq 0.13$ ) para visualizações estatísticas.

Foram produzidos gráficos de temperatura exterior/interior e consumo energético médio por sala e por dia.



## **6 Vídeo com Demonstração**

## 7 Conclusão e Trabalhos Futuros

O pipeline integra aquisição, simulação, transformação e visualização. A abordagem modular permite fácil expansão e automação.

### **Trabalhos futuros:**

- Integração direta Node-RED → Pentaho via API;
- Dashboards interativos (Grafana, Power BI);
- Modelos preditivos de consumo energético.