PLATAFORMA CIDADES VERDES: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO IOT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO URBANO EM RIO CLARO – SP

GREEN CITIES PLATFORM: DEVELOPMENT OF AN IOT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTION FOR URBAN MICROCLIMATE MONITORING IN RIO CLARO, SP, BRAZIL

MAURO SILVA RUIZ
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FATEC DE RIO CLARO

FERNANDO JOSE MANESCO
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FATEC DE RIO CLARO

GUSTAVO BONIN GAVA
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FATEC DE RIO CLARO

CLEBERSON EUGENIO FORTE
CENTRO PAULA SOUZA

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

PLATAFORMA CIDADES VERDES: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO IOT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO URBANO EM RIO CLARO – SP

Objetivo do estudo
Este relato técnico descreve e analisa a primeira etapa de desenvolvimento da Plataforma Cidades Verdes, iniciativa que integra sensores de temperatura e umidade, Internet das Coisas e Inteligência Artificial para identificar padrões microclimáticos em áreas urbanas de Rio Claro, SP.

Relevância/originalidade
O monitoramento ambiental convencional não captura variações microclimáticas locais, especialmente relevantes em Rio Claro pela proximidade ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. A proposta é original por articular uma rede distribuída de baixo custo, complementar às redes institucionais, entre ONG e universidade.

Metodologia/abordagem
Adotou-se metodologia ágil (Scrum) com sete estudantes de Inteligência Artificial da Fatec Rio Claro. Construiu-se um protótipo com sensor DHT11 e Arduino Uno; dados sintéticos de seis bairros foram normalizados e agrupados pelo algoritmo K-Means, via biblioteca scikit-learn.

Principais resultados
Adotou-se metodologia ágil (Scrum) com sete estudantes de Inteligência Artificial da Fatec Rio Claro. Construiu-se um protótipo com sensor DHT11 e Arduino Uno; dados sintéticos de seis bairros foram normalizados e agrupados pelo algoritmo K-Means, via biblioteca scikit-learn.

Contribuições teóricas/metodológicas
O estudo consolida um pipeline replicável de aquisição, normalização e agrupamento de dados microclimáticos, integrando IoT e aprendizado de máquina em arquitetura modular. Contribui, ainda, com o registro sistemático de uma experiência acadêmica aplicada, útil como referência metodológica para etapas futuras.

Contribuições sociais/para a gestão
Os resultados vêm subsidiando estratégias de plantio e captação de recursos da ONG Mundo Florido, além de fortalecer a parceria entre sociedade civil e Fatec Rio Claro. A plataforma oferece subsídios ao planejamento territorial urbano e à sustentabilidade, alinhada ao ODS 11.

Palavras-chave: Monitoramento microclimático, Internet das Coisas, Inteligência Artificial, K-Means, Sensores de baixo custo

GREEN CITIES PLATFORM: DEVELOPMENT OF AN IOT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTION FOR URBAN MICROCLIMATE MONITORING IN RIO CLARO, SP, BRAZIL

Study purpose
This technical report describes and analyzes the first development stage of the Green Cities Platform, an initiative integrating temperature and humidity sensors, the Internet of Things, and Artificial Intelligence to identify microclimatic patterns in urban areas of Rio Claro, SP, Brazil.

Relevance / originality
Conventional environmental monitoring fails to capture local microclimatic variations, particularly relevant in Rio Claro due to its proximity to the Santa Gertrudes Ceramic Cluster. The study's originality lies in articulating a low-cost distributed sensor network, complementary to institutional networks, through NGO-university collaboration.

Methodology / approach
An agile methodology (Scrum) was adopted with seven Artificial Intelligence students from Fatec Rio Claro. A prototype using a DHT11 sensor and Arduino Uno was built; synthetic data from six neighborhoods were normalized and clustered using the K-Means algorithm via scikit-learn.

Main results
The prototype performed satisfactorily and received a favorable assessment from faculty and institutional stakeholders. K-Means separated the simulated neighborhoods into three distinct clusters, associated with different thermal and humidity profiles, demonstrating the model's potential for microclimatic segmentation.

Theoretical / methodological contributions
The study consolidates a replicable pipeline for acquiring, normalizing, and clustering microclimatic data, integrating IoT and machine learning within a modular architecture. It also contributes a systematic record of an applied academic experience, useful as a methodological reference for future project stages.

Social / management contributions
The results have been informing planting and fundraising strategies of the NGO Mundo Florido, while strengthening the partnership between civil society and Fatec Rio Claro. The platform supports urban territorial planning and sustainability, in line with Sustainable Development Goal 11.

Keywords: Microclimatic monitoring, Internet of Things, Artificial Intelligence, K-Means, Low-cost sensors

PLATAFORMA CIDADES VERDES: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO IOT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO URBANO EM RIO CLARO – SP

1. Introdução

O monitoramento das condições ambientais em áreas urbanas constitui um desafio para o planejamento e a gestão territorial, especialmente quando se busca compreender diferenças existentes entre bairros de um mesmo município. As redes convencionais de monitoramento ambiental e meteorológico, embora fundamentais para a obtenção de informações em escala regional, apresentam limitações para representar variações espaciais mais localizadas. Em uma mesma cidade, diferentes áreas podem apresentar condições distintas de temperatura, umidade e qualidade do ar, associadas às características de ocupação do solo, cobertura vegetal, atividades produtivas e circulação atmosférica.

No município de Rio Claro, no interior do Estado de São Paulo, esse desafio assume relevância em razão de sua inserção em uma região marcada pela atividade industrial e pela proximidade com o Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. A dinâmica territorial regional envolve atividades relacionadas à produção cerâmica, ao setor sucroalcooleiro e a fluxos logísticos de carga, compondo um contexto no qual as condições ambientais podem apresentar variações espaciais relevantes.

A situação-problema que motivou a experiência relatada neste trabalho está relacionada à necessidade de ampliar a capacidade de observação das condições ambientais em escala local, produzindo informações que permitam identificar diferenças microclimáticas entre áreas urbanas. A ausência de uma rede distribuída de baixo custo limita a possibilidade de observar essas diferenças com maior resolução espacial e dificulta a construção de informações complementares às produzidas pelos sistemas institucionais de monitoramento.

A iniciativa da Plataforma Cidades Verdes surgiu a partir de demandas práticas da ONG Mundo Florido, organização que desenvolve atividades voluntárias relacionadas ao plantio e à regeneração florestal no município de Rio Claro. A demanda foi articulada com estudantes e docentes da Fatec Rio Claro, no contexto de atividades acadêmicas relacionadas à área de ESG, resultando no desenvolvimento de um protótipo destinado à coleta e ao armazenamento de dados de temperatura e umidade, com vistas à sua futura distribuição em diferentes pontos do ambiente urbano.

A primeira etapa da experiência concentrou-se na construção e avaliação de uma arquitetura tecnológica baseada em sensores, Internet das Coisas (IoT) e processamento computacional. Os dados obtidos foram submetidos ao algoritmo K-Means, técnica de aprendizado de máquina não supervisionado utilizada para identificar agrupamentos de pontos com características microclimáticas semelhantes.

A partir dessa experiência inicial, estabeleceu-se uma arquitetura modular que permite a incorporação futura de novos sensores e fontes de dados. Entre os desdobramentos previstos encontra-se a inclusão de um sensor de material particulado e a integração com dados provenientes de estações institucionais, ampliando o escopo da plataforma para a análise da qualidade do ar em escala microrregional. Essa etapa, entretanto, ainda se encontra em fase de planejamento e articulação.

Nesse contexto, o objetivo deste relato técnico é **descrever e analisar a experiência de desenvolvimento da primeira etapa da Plataforma Cidades Verdes, caracterizada pela integração de sensores de temperatura e umidade, IoT e Inteligência Artificial para a**

identificação de padrões microclimáticos em áreas urbanas de Rio Claro – SP. Ao final do **texto, apresenta-se a perspectiva de continuidade do projeto (segunda etapa, seção 4.6), tratada de forma distinta dos resultados efetivamente obtidos nesta primeira etapa (seção 4), de modo a evitar qualquer confusão entre o que foi planejado e o que foi realizado.**

Este relato está organizado em quatro seções, além desta introdução: a seção 2 apresenta o referencial teórico que fundamenta a intervenção; a seção 3 descreve a metodologia empregada no desenvolvimento e na avaliação da primeira etapa; a seção 4 apresenta e discute os resultados obtidos, incluindo o agrupamento dos pontos monitorados pelo algoritmo K-Means; e a seção 5 apresenta as conclusões, as limitações identificadas e as perspectivas de continuidade do projeto.

2. Referencial Teórico

2.1 Monitoramento ambiental urbano e variabilidade microclimática

O monitoramento das condições ambientais em áreas urbanas demanda informações capazes de representar não apenas tendências regionais, mas também diferenças existentes em escalas espaciais menores. A distribuição de temperatura e umidade pode variar em função das características físicas e ambientais dos locais monitorados, tornando relevante a obtenção de dados espacialmente distribuídos.

Nesse contexto, redes de sensores de menor custo podem ampliar a densidade espacial das observações ambientais. Entretanto, sua utilização exige procedimentos de avaliação, calibração e validação, uma vez que sensores de baixo custo podem apresentar desvios associados às condições ambientais e às próprias características dos dispositivos. Estudos recentes indicam a possibilidade de utilização de técnicas de aprendizado de máquina para apoiar processos de calibração a partir da comparação entre sensores de menor custo e equipamentos ou estações de referência (Zimmerman et al., 2018; Taştan, 2025).

Essa perspectiva sustenta a utilização de redes distribuídas como complemento às estruturas institucionais existentes. No contexto da Plataforma Cidades Verdes, a proposta não consiste em substituir as estações oficiais de monitoramento, mas em ampliar a resolução espacial das informações ambientais por meio da distribuição de dispositivos em pontos urbanos selecionados.

2.2 Contexto ambiental do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes

O Polo Cerâmico de Santa Gertrudes constitui um importante arranjo produtivo da região e apresenta relevância econômica para os municípios envolvidos. Motta et al. (2004) caracterizaram o polo como um importante centro produtor de revestimentos cerâmicos das Américas. Dados apresentados pela Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento indicam a presença de grupos empresariais distribuídos entre Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Rio Claro, Ipeúna, Limeira e Piracicaba, com produção anual próxima de 660 milhões de m² de revestimentos cerâmicos (ASPACER, 2025).

A relevância econômica da atividade é acompanhada por desafios ambientais relacionados à mineração, ao beneficiamento, ao transporte e à transformação das matérias-primas. Estudos desenvolvidos na região identificaram diferentes fontes de material particulado, incluindo solos, minérios de argila, estradas e processos industriais. A transferência dessas partículas para a atmosfera apresenta relação com condições meteorológicas como temperatura,

umidade, velocidade e direção dos ventos e estabilidade atmosférica (Oliveira et al., 2016).

Oliveira (2015) identificou, no material particulado atmosférico da região, elementos associados às diferentes fontes presentes no processo produtivo, enquanto Mizutani (2022) investigou a exposição à poluição atmosférica em cidades da região produtora de cerâmicas e seus efeitos sobre a função pulmonar de estudantes.

Essas características justificam a importância de ampliar a capacidade de monitoramento ambiental na região e constituem parte do contexto no qual se insere a experiência da Plataforma Cidades Verdes.

2.3 Sensores de baixo custo, IoT e monitoramento ambiental

A utilização de sensores de baixo custo permite aumentar a quantidade de pontos de observação e, consequentemente, ampliar a resolução espacial dos dados ambientais. Contudo, os sensores devem ser compreendidos como instrumentos complementares às estações de referência, sobretudo em aplicações que demandem maior confiabilidade das medições.

No caso da qualidade do ar, sensores ópticos de baixo custo podem sofrer influência de condições ambientais, incluindo a umidade relativa do ar. A literatura aponta, nesse contexto, a necessidade de procedimentos de calibração e validação para que os dados obtidos possam ser adequadamente interpretados (Zimmerman et al., 2018; Taştan, 2025).

A arquitetura da Plataforma Cidades Verdes foi concebida de forma modular, permitindo que novos sensores e fontes externas de dados sejam incorporados progressivamente sem a necessidade de reformulação integral do sistema. Essa característica constitui um dos elementos centrais da estratégia de desenvolvimento adotada.

2.4 Inteligência Artificial aplicada à análise dos dados ambientais

Técnicas de aprendizado de máquina podem ser utilizadas para identificar padrões em conjuntos de dados ambientais, especialmente quando existem múltiplas observações provenientes de diferentes pontos de monitoramento.

Na primeira etapa da Plataforma Cidades Verdes, foi utilizado o algoritmo K-Means, método de aprendizado não supervisionado baseado em agrupamento. Sua aplicação teve como finalidade reunir pontos com características semelhantes de temperatura e umidade, permitindo explorar padrões que não seriam necessariamente evidentes a partir da análise individual das observações. A Figura 1 sintetiza, de forma didática, a lógica geral desse processo de agrupamento não supervisionado.

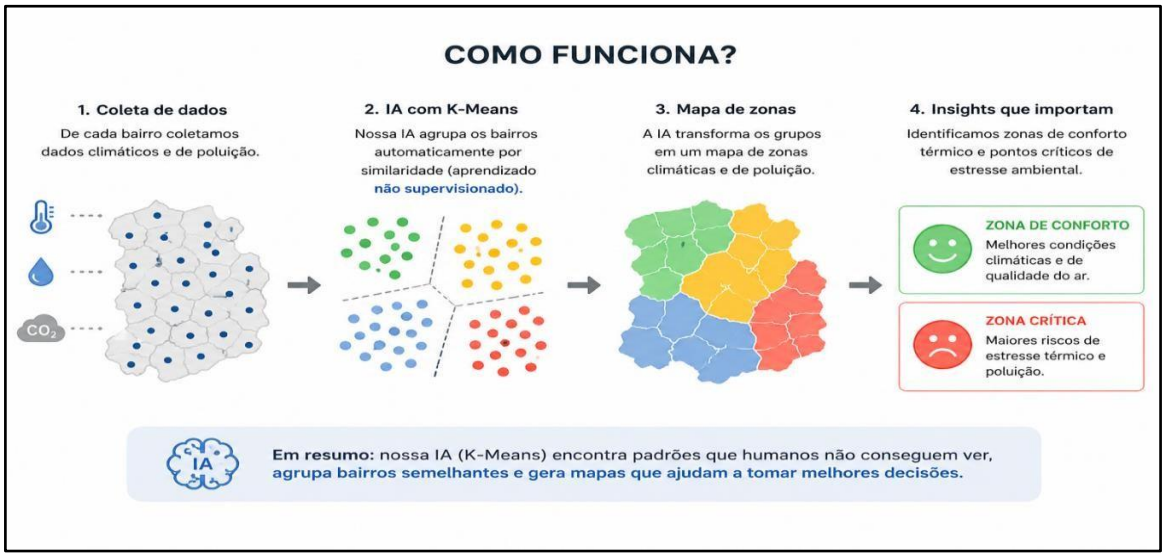


Figura 1. Lógica geral do agrupamento por K-Means aplicado ao monitoramento microclimático
Nota. Elaborado pelos autores.

A utilização de técnicas de aprendizado de máquina também constitui fundamento para os desdobramentos planejados da plataforma. Na segunda etapa, está prevista a utilização do Isolation Forest para apoiar a identificação de anomalias e o tratamento de dados relacionados à qualidade do ar. Essa aplicação, entretanto, integra o planejamento futuro do projeto e não constitui resultado da primeira etapa relatada.

3. Metodologia

3.1 Caracterização do relato técnico e da intervenção

Este relato técnico apresenta a primeira etapa de desenvolvimento da Plataforma Cidades Verdes, uma iniciativa conjunta entre a ONG Mundo Florido e a Fatec Rio Claro. A intervenção ocorreu entre fevereiro e junho de 2026, conduzida por sete estudantes do primeiro período do curso de Inteligência Artificial, com o apoio pedagógico dos docentes das disciplinas de Gestão de Projetos Ágeis I e de Gestão de Projetos e Empreendedorismo.

Sob orientação docente e com o emprego de metodologias ágeis, os alunos definiram os temas de estudo e o escopo inicial, refinado progressivamente diante dos desafios práticos. A abordagem metodológica exigiu a integração de Internet das Coisas (IoT) e algoritmos de Inteligência Artificial (IA) em todos os grupos. A equipe estruturou-se sob a metodologia Scrum, dividindo as responsabilidades entre Product Owner, Scrum Master e cinco desenvolvedores — sendo três dedicados à interface (front-end) e dois à lógica do servidor (back-end).

A intervenção abordou como problema central a escassez de dados microclimáticos espacialmente distribuídos na área urbana de Rio Claro. Para tanto, buscou-se uma solução tecnológica replicável e de baixo custo. Esta primeira fase consistiu no desenvolvimento de um protótipo funcional para captação de dados de temperatura e umidade, com transmissão automatizada para uma infraestrutura computacional voltada ao processamento e análise das informações.

3.2 Desenvolvimento e aquisição dos dados

A arquitetura geral da plataforma, contemplando as etapas de coleta, transmissão, armazenamento, processamento e apresentação dos dados, está ilustrada na Figura 2. Cabe destacar que, nesta primeira etapa, foram efetivamente implementadas as etapas de coleta (sensores) e de processamento (simulação do algoritmo K-Means); os módulos de dashboard interativo e de geração automática de relatórios permanecem como desenvolvimentos previstos para etapas futuras da plataforma.

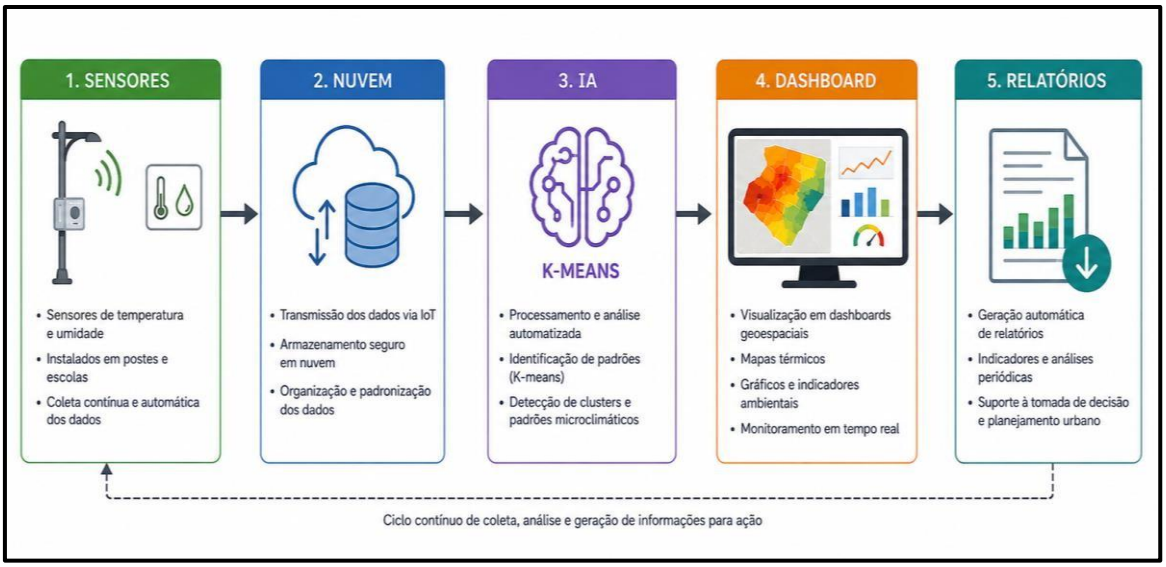


Figura 2. Fluxo geral de integração da Plataforma Cidades Verdes, da coleta de dados à geração de relatórios
Nota. Elaborado pelos autores.

A arquitetura do sistema foi desenvolvida de maneira modular, utilizando um sensor digital de temperatura e umidade (modelo DHT11) integrado a um microcontrolador Arduino Uno. A seleção desses componentes baseou-se no baixo custo e na disponibilidade imediata nos laboratórios da Fatec Rio Claro, permitindo a expansão futura da rede e a incorporação de novas fontes de dados. Para garantir a integridade do circuito contra violações e danos mecânicos durante o transporte ou manuseio, o conjunto eletrônico foi alojado em um invólucro protetor de acrílico com 3 mm de espessura, conforme ilustrado na Figura 3.

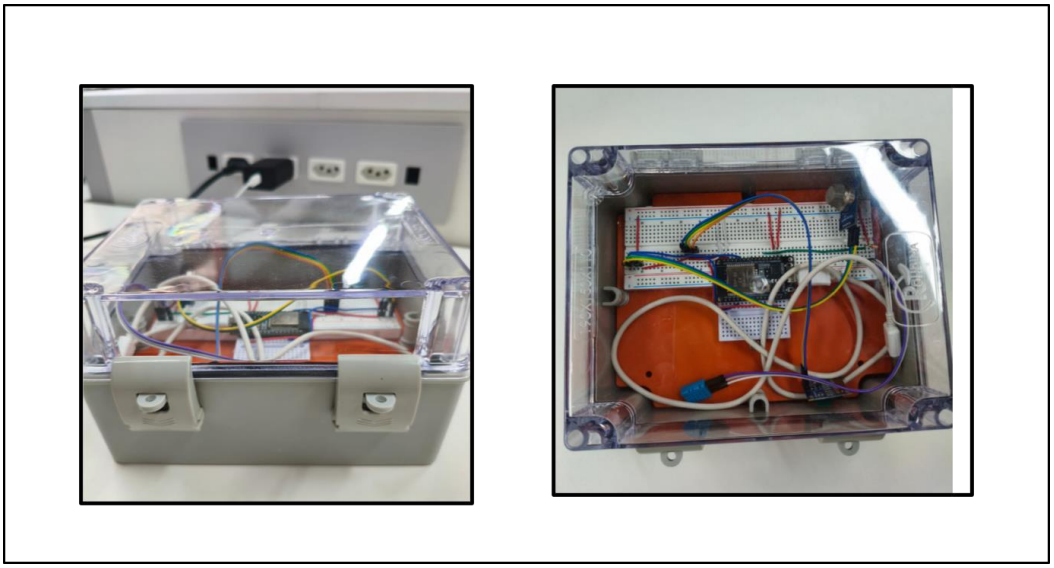


Figura 3. Protótipo do dispositivo de coleta (sensor DHT11 e microcontrolador Arduino Uno) alojado em invólucro de acrílico
Nota. Elaborado pelos autores.

O dispositivo foi instalado no pátio da Fatec Rio Claro para a coleta de variáveis ambientais urbanas. A referida unidade de ensino situa-se nas proximidades do Parque Municipal Lago Azul, região norte do município, zona urbana que abrange bairros como Vila Operária e Vila Aparecida, caracterizada por ser uma relevante área de lazer e práticas desportivas da comunidade local.

Por se tratar de uma etapa inicial de validação da funcionalidade do protótipo e de demonstração de sua viabilidade técnica, as medições de umidade e temperatura foram realizadas de forma assíncrona, sem a definição prévia de um intervalo regular entre as coletas. A coleta de dados concentrou-se no período matutino, entre 8h e 12h, com duas coletas por período, realizadas especificamente nas quintas-feiras das duas últimas semanas de junho de 2026, totalizando quatro coletas. Esse procedimento foi suficiente para a avaliação inicial do funcionamento do protótipo, mas não permite uma caracterização abrangente da variação temporal das variáveis ambientais. Para essa finalidade, seria necessário ampliar o período de monitoramento, contemplando diferentes horários do dia, incluindo manhã, tarde e noite, ao longo de, pelo menos, um mês. Os dados amostrados foram encaminhados à infraestrutura computacional destinada ao armazenamento e processamento das informações.

3.3 Simulação de processamento e análise de dados

Para validar a aplicabilidade do algoritmo K-Means no mapeamento microclimático urbano, optou-se pela condução de uma simulação computacional utilizando dados sintéticos de temperatura e umidade com o apoio técnico do professor de Introdução à Inteligência Artificial. Essa abordagem metodológica justificou-se pela necessidade de homologar o fluxo de processamento e a capacidade de representação espacial do modelo antes da coleta massiva em campo. A geração dos dados fictícios baseou-se em perfis teóricos contrastantes, modelados a partir das características morfológicas urbanas de seis bairros distintos do município.

O pipeline de processamento iniciou-se com a etapa de normalização dos dados simulados. Como o K-Means calcula a proximidade entre os pontos com base na distância euclidiana, a diferença de escala entre a temperatura (em °C) e a umidade relativa (em %) poderia enviesar o algoritmo. Para mitigar esse efeito, o fluxo de trabalho foi implementado em ambiente Python por meio da biblioteca scikit-learn. Utilizou-se a classe MinMaxScaler para aplicar o redimensionamento Min-Max, transpondo os valores originais para um intervalo normalizado entre 0 e 1, garantindo pesos equivalentes a ambas as variáveis.

Na sequência, o algoritmo K-Means da mesma biblioteca foi configurado para identificar vetores com assinaturas microclimáticas análogas. A definição do número ideal de agrupamentos resultou na estruturação de três clusters (designados como C0, C1 e C2) distribuídos entre os seis bairros simulados. O critério de partição baseou-se estritamente na homogeneidade matemática das condições térmicas e higrométricas normalizadas, operando de forma independente da localização geográfica absoluta das estações.

3.4 Visualização dos dados

Os dados processados foram organizados para permitir sua representação visual e interpretação espacial. Entre as formas de apresentação utilizadas ou previstas para a plataforma estão mapas temáticos, gráficos de variação das condições microclimáticas e indicadores comparativos entre pontos ou áreas monitoradas.

Na primeira etapa, a visualização concentrou-se nas variáveis de temperatura e umidade e

nos agrupamentos obtidos por meio do K-Means, cujos resultados são apresentados e discutidos na Figura 4 (seção 4.3). Critérios de avaliação da primeira etapa

A fase inicial do projeto concentrou-se na validação conceitual e no desenvolvimento da arquitetura tecnológica integrada, englobando as etapas de aquisição, transmissão, armazenamento e processamento de dados, além da aplicação experimental do algoritmo de agrupamento via dados sintéticos.

O protótipo foi avaliado por um comitê técnico-acadêmico composto pelos docentes das disciplinas de Gestão de Projetos Ágeis I e Gestão de Projetos e Empreendedorismo, que emitiram parecer favorável, destacando a celeridade do desenvolvimento e a maturidade tecnológica alcançada no prazo estabelecido. Em reunião de alinhamento realizada no final de junho de 2026, na Fatec Rio Claro, a proposta também foi validada por representantes do poder público e da esfera institucional, incluindo o Secretário Municipal de Meio Ambiente e a Inova CPS (Incubadora do Centro Paula Souza), que reconheceram seu potencial de escalabilidade e viabilidade de implementação. A apresentação e os registros da validação foram gravados em vídeo e encontram-se arquivados com o professor responsável pela disciplina de Projetos Ágeis e com os integrantes do Projeto Cidades Verdes.

A principal restrição de escopo identificada no desenvolvimento do projeto Cidades Verdes associou-se à impossibilidade temporária de implantação física do protótipo em múltiplos pontos urbanos concomitantes. Essa limitação restringiu a execução do algoritmo K-Means ao conjunto de dados simulados. Diante desse cenário, priorizou-se a curva de aprendizado célere da técnica de agrupamento para garantir a consolidação do pipeline de dados e o registro sistemático do processo. Essa documentação fundamenta a replicabilidade metodológica da solução e assegura o delineamento claro entre os resultados práticos obtidos nesta intervenção e as diretrizes estabelecidas para o desenvolvimento futuro do sistema.

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.1 Caracterização da intervenção

A intervenção resultou no desenvolvimento de uma estrutura tecnológica destinada ao monitoramento de condições microclimáticas em pontos distintos do ambiente urbano, integrando sensores, comunicação de dados, armazenamento e processamento computacional em uma arquitetura passível de ampliação futura (Figura 2).

Do ponto de vista organizacional, a intervenção confirmou, na prática, a viabilidade da articulação entre a demanda da ONG Mundo Florido e o suporte técnico-científico oferecido pelos estudantes e docentes da Fatec Rio Claro, conforme descrito na metodologia (seção 3.1), consolidando um modelo de cooperação que pode ser replicado em experiências semelhantes.

4.2 Monitoramento de temperatura e umidade

A etapa inicial consistiu no estabelecimento da infraestrutura tecnológica voltada à coleta e à sistematização de dados microclimáticos de temperatura e umidade. Embora o planejamento previsse pontos urbanos diversificados, a coleta concentrou-se experimentalmente no pátio da Fatec Rio Claro. Mesmo restrito a essa localidade, o protótipo apresentou desempenho operacional satisfatório, gerando registros consistentes e compatíveis, em termos gerais, com as médias diárias da estação oficial do Centro de Análise e Planejamento Ambiental

(CEAPLA) da Unesp de Rio Claro. Entretanto, essa comparação não foi quantificada. Para conferir maior robustez à validação dos dados, seria pertinente calcular, para o conjunto das medições, métricas como a diferença média entre os registros e a correlação com os dados da estação de referência.

Como detalhado na seção 3.5, a impossibilidade de implantação simultânea do protótipo nos seis bairros contemplados nas simulações impediu a quantificação de variações microclimáticas reais entre essas localidades nesta primeira etapa. A obtenção futura desses dados de campo permitirá calibrar o algoritmo a partir de evidências empíricas, corroborando — ou não — a influência das especificidades territoriais e morfológicas locais sugerida pelos agrupamentos simulados (seção 4.3).

4.3 Agrupamento dos pontos pelo K-Means

A aplicação do algoritmo K-Means permitiu agrupar os pontos monitorados segundo sua similaridade em relação às condições de temperatura e umidade, complementando a análise espacial tradicional com uma perspectiva baseada em aprendizado não supervisionado. Diferentemente de uma classificação por proximidade geográfica, o K-Means identifica padrões de similaridade a partir apenas dos valores climáticos registrados, permitindo revelar semelhanças microclimáticas entre bairros que não são necessariamente vizinhos entre si.

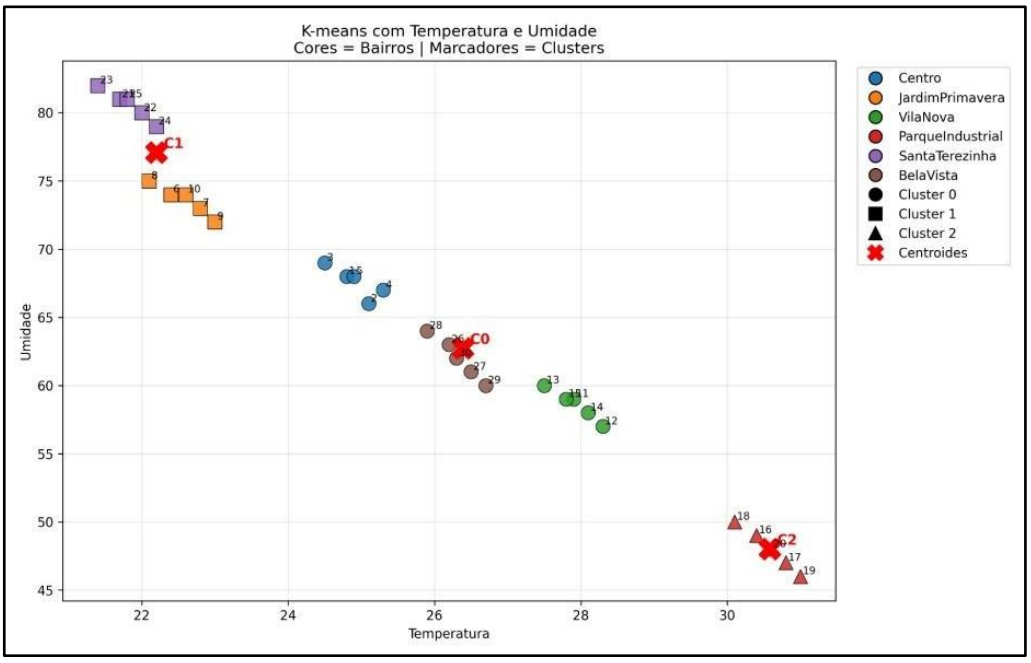


Figura 4. Agrupamento dos bairros segundo similaridade de temperatura e umidade

Nota. Cores representam os bairros monitorados; marcadores representam os clusters atribuídos pelo K-Means; os X vermelhos indicam os centroides de cada grupo. Elaborado pelos autores.

Cabe destacar que, nesta primeira etapa, os dados dos bairros foram simulados com base em referências qualitativas, como localização, presença de vegetação e grau de impermeabilização do solo, sem critérios quantitativos específicos para a definição dos valores.

Essa abordagem foi utilizada exclusivamente para testar a aplicação do K-Means e validar o fluxo de processamento previsto para a plataforma. Assim, os agrupamentos apresentados devem ser interpretados como resultado de uma simulação metodológica, e não como uma

caracterização empírica das condições microclimáticas dos bairros.A aplicação do algoritmo aos dados simulados de temperatura e umidade resultou na formação de três agrupamentos (clusters) bem definidos e com boa separação entre si, como mostra a Figura 4:

- **Cluster 1** — reúne os pontos de Santa Terezinha e Jardim Primavera, caracterizados pelas temperaturas mais baixas (aproximadamente 21 a 23 °C) e pelos maiores níveis de umidade relativa (72 a 82%) entre todos os bairros monitorados.
- **Cluster 0** — agrupa os pontos de Centro, Bela Vista e Vila Nova, situados em uma faixa intermediária tanto de temperatura (24,5 a 28,5 °C) quanto de umidade (57 a 69%).
- **Cluster 2** — isola os pontos do Parque Industrial, que apresentaram as temperaturas mais elevadas (30 a 31 °C) e os menores índices de umidade (46 a 50%) de todo o conjunto de dados.

É importante destacar que, embora características gerais dos bairros, como localização, presença de vegetação e grau de impermeabilização, tenham sido consideradas como referências para a construção dos dados simulados, essas informações não foram utilizadas pelo algoritmo no processo de agrupamento. O K-Means considerou exclusivamente os valores simulados de temperatura e umidade, agrupando os bairros segundo a similaridade dessas duas variáveis. Dessa forma, bairros fisicamente distantes, como Santa Terezinha e Jardim Primavera, puderam integrar o mesmo cluster, enquanto bairros próximos poderiam ser classificados em grupos distintos caso apresentassem valores climáticos diferentes. Uma segunda projeção dos mesmos dados reproduziu a composição dos clusters, indicando consistência do agrupamento no conjunto simulado. Esse resultado, contudo, deve ser interpretado no contexto experimental da etapa, uma vez que os dados utilizados para os bairros não foram obtidos por monitoramento efetivo.

Essa segmentação demonstra, em caráter experimental, como o agrupamento por similaridade climática pode ser utilizado para transformar um conjunto de observações pontuais em grupos de interesse para a análise e a gestão urbana e ambiental.

A separação nítida do Parque Industrial como grupo isolado, por exemplo, indica, no conjunto simulado, um perfil associado a maior potencial de estresse térmico, potencialmente associado a menor cobertura vegetal, maior proporção de superfícies impermeabilizadas (asfalto, telhados metálicos, pátios de manobra) e maior geração de calor antropogênico típica de zonas industriais — fatores que, em conjunto, favorecem a formação de ilhas de calor locais. Já o cluster de Santa Terezinha e Jardim Primavera, com temperaturas mais amenas e umidade mais elevada, é compatível com áreas de maior presença de vegetação, menor densidade construtiva ou proximidade a corpos d'água, embora essa hipótese ainda dependa de confirmação por dados de uso e cobertura do solo, que não fizeram parte do escopo direto desta coleta.

O cluster intermediário (Centro, Bela Vista e Vila Nova), por reunir bairros com perfis distintos de ocupação urbana sob uma mesma faixa climática, sugere que, apesar das diferenças de adensamento entre esses três bairros, fatores como o padrão de circulação atmosférica local e a exposição solar semelhante podem estar equalizando suas condições térmicas — uma hipótese que merece investigação futura com dados de vento e sombreamento.

4.4 Discussão dos resultados

Os resultados da primeira etapa indicam o potencial da utilização de uma rede distribuída de

sensores para ampliar a resolução espacial do monitoramento microclimático. A experiência também demonstra que técnicas de aprendizado de máquina, como o K-Means, podem ser incorporadas ao processamento dos dados para apoiar a identificação de padrões entre diferentes pontos de observação.

Esse resultado é coerente com a literatura que aponta o potencial de redes de sensores de menor custo para ampliar a densidade espacial das observações ambientais, desde que sejam considerados os procedimentos necessários de avaliação e validação dos dispositivos (Zimmerman et al., 2018; Taştan, 2025).

No contexto territorial estudado, a utilização de informações espacializadas apresenta relevância adicional diante das características ambientais associadas ao Polo Cerâmico de Santa Gertrudes e às diferentes fontes de material particulado identificadas na literatura regional (seção 2.2). Estudos anteriores demonstram que a dinâmica das partículas atmosféricas está relacionada tanto às fontes de emissão quanto às condições meteorológicas, reforçando a importância da integração entre variáveis ambientais para compreender a distribuição espacial dos fenômenos observados.

Entretanto, os resultados da primeira etapa devem ser interpretados dentro de seus limites. O protótipo monitorou inicialmente temperatura e umidade, não permitindo ainda estabelecer relações empíricas entre os agrupamentos identificados e a concentração de material particulado. A análise da qualidade do ar integra a etapa subsequente do projeto.

4.5 Contribuições da intervenção

A principal contribuição técnica desta primeira etapa foi a construção e a avaliação inicial de uma arquitetura capaz de integrar, em uma solução modular, a aquisição de dados ambientais, a conectividade IoT e a aplicação de Inteligência Artificial.

Do ponto de vista da aplicação, a experiência demonstrou a viabilidade de se produzir informações microclimáticas espacializadas por meio de uma estrutura de baixo custo, complementar às redes institucionais de monitoramento já existentes.

Do ponto de vista organizacional e acadêmico, a experiência evidenciou a possibilidade de articulação entre sociedade civil e instituição de ensino para o desenvolvimento de soluções tecnológicas orientadas a problemas territoriais concretos.

A ONG Mundo Florido, especializada no plantio de árvores em área urbana e imediações, já vem redefinindo, a partir das simulações realizadas, algumas de suas estratégias de plantio nos bairros analisados. A organização também tem utilizado os resultados preliminares do projeto e os elementos de argumentação construídos ao longo do trabalho em seu processo de captação de recursos junto ao Rotary Club de Rio Claro, tendo obtido êxito na obtenção de patrocínio da Unimed e de outras empresas para a remuneração de um jardineiro de apoio às suas atividades. A página do Cidades Verdes na internet (www.cidadesverdes.com.br) também vem sendo utilizada pela ONG como referência institucional em suas buscas por recursos financeiros.

A parceria com os alunos do curso de ESG, também oferecido pela Fatec Rio Claro em conjunto com o curso de Inteligência Artificial, foi igualmente fortalecida após a conclusão desta primeira etapa do projeto.

Para os alunos e professores envolvidos, a contribuição tem sido de grande valia. Além de consolidar de forma consistente o aprendizado em metodologias ágeis, a experiência permitiu delinear e desenvolver um tema desafiador, deixando registros que poderão inspirar

as próximas turmas do curso, ainda em suas primeiras coortes. Adicionalmente, o projeto tem despertado interesse em publicações científicas, participação em eventos e submissão de propostas a editais de Iniciação Científica junto a agências de fomento. Desdobramento da segunda etapa

A partir da arquitetura estabelecida na primeira etapa, está sendo planejada a ampliação do sistema para incorporar informações relacionadas à qualidade do ar.

A proposta prevê a incorporação de um sensor complementar de baixo custo para medição de material particulado, tendo como possibilidade o modelo PMS5003. Antes da integração definitiva, estão previstos testes de bancada e de campo para avaliar seu comportamento nas condições reais de utilização.

Também estão previstas campanhas móveis de amostragem em dois ou três pontos e a integração com dados de estações de referência, incluindo CETESB Jardim Guanabara, CETESB Santa Gertrudes e UNESP/CEAPLA Boa Vista, priorizando-se inicialmente as bases públicas disponíveis pelo sistema QUALAR.

A partir da integração dos dados primários e secundários, pretende-se construir um conjunto de dados unificado para aplicação de técnicas de aprendizado de máquina. Está prevista a utilização do K-Means para agrupamento e identificação de padrões e do Isolation Forest para detecção de anomalias e apoio ao tratamento dos dados.

Essas atividades constituem desdobramentos planejados e, portanto, não devem ser apresentadas como resultados já obtidos na primeira etapa.

5. Conclusões, Considerações Finais e Contribuições

A primeira etapa da Plataforma Cidades Verdes permitiu desenvolver e testar uma abordagem de monitoramento microclimático baseada na integração entre sensores, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial. A utilização de sensores de temperatura e umidade e a aplicação do algoritmo K-Means possibilitaram estruturar uma primeira camada de observação espacializada das condições microclimáticas urbanas.

A experiência demonstra o potencial de uma arquitetura tecnológica modular para ampliar a disponibilidade de informações ambientais em escala local. A solução desenvolvida reafirma o papel de tecnologias de baixo custo como complemento — e não substituto — às redes institucionais de monitoramento, ampliando a densidade espacial das observações e possibilitando explorar diferenças microclimáticas entre áreas urbanas, conforme discutido na seção 2.1.

Em relação ao objetivo proposto, a primeira etapa permitiu estruturar uma solução funcional para aquisição e processamento de dados microclimáticos e testar a aplicação do algoritmo K-Means na identificação de agrupamentos com base em temperatura e umidade. A validação técnico-acadêmica do protótipo, realizada pelos docentes responsáveis, resultou em parecer favorável quanto à celeridade do desenvolvimento e à maturidade tecnológica alcançada. Adicionalmente, em reunião realizada em junho de 2026, a proposta foi apresentada a stakeholders institucionais, incluindo o Secretário Municipal de Meio Ambiente e a representação da Inova CPS, que reconheceram seu potencial de escalabilidade e viabilidade de implementação. Esses registros estão documentados em vídeo, conforme apresentado na seção 3.5.

Entre as principais limitações desta primeira etapa estão: (i) a concentração do monitoramento em um único ponto de coleta (pátio da Fatec Rio Claro), o que impediu a

validação empírica dos agrupamentos simulados nos demais bairros (seção 4.2); (ii) a realização das medições em intervalos assíncronos, restritos ao período matutino e a duas semanas de junho de 2026 (seção 3.2), limitando a generalização dos resultados para outros horários e períodos do ano; e (iii) a ausência, nesta etapa, de sensoriamento próprio de material particulado, impossibilitando relacionar os agrupamentos microclimáticos identificados às condições de qualidade do ar (seção 4.4). Somam-se a essas limitações as restrições próprias do calendário acadêmico e do período disponível para execução do projeto, entre fevereiro e junho de 2026, que condicionaram o escopo e a duração das campanhas de coleta. Embora esse período tenha sido suficiente para o desenvolvimento e a validação inicial da solução, um prazo mais amplo permitiria aprofundar as atividades de medição, calibração e validação dos dados.

Além das limitações relacionadas à abrangência espacial e temporal da coleta, é necessário destacar que a aplicação do K-Means aos diferentes bairros foi realizada, nesta primeira etapa, sobre dados simulados. Embora essa abordagem tenha permitido testar o algoritmo e consolidar o fluxo de processamento da plataforma, ela não substitui a aplicação do método sobre dados efetivamente coletados em múltiplos pontos urbanos. Esse recorte esteve associado tanto às limitações de implantação do protótipo quanto ao caráter acadêmico e experimental da etapa, na qual a integração entre IoT e Inteligência Artificial constituía requisito essencial do desenvolvimento. Dessa forma, os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do pipeline proposto, mas não permitem ainda validar empiricamente a existência ou a estabilidade dos agrupamentos identificados no território urbano.

Considera-se, portanto, que o objetivo proposto para esta primeira etapa foi atendido, com a construção de um protótipo funcional e a demonstração de sua viabilidade técnica. O registro sistemático dessa experiência como relato técnico constitui, adicionalmente, uma contribuição para a continuidade do projeto e pode servir como referência para futuras turmas do curso de Inteligência Artificial da Fatec Rio Claro.

As limitações identificadas não invalidam os resultados obtidos, mas delimitam seu alcance e indicam a necessidade de etapas posteriores de calibração, ampliação da rede de sensores e integração com dados de referência. Como desdobramento, a continuidade do projeto prevê a incorporação de sensores de material particulado, a realização de campanhas móveis de monitoramento e a integração com dados institucionais, possibilitando ampliar a análise para a qualidade do ar e para a escala microrregional.

A continuidade do projeto também poderá permitir uma avaliação mais aprofundada das relações entre características urbanas, condições meteorológicas e distribuição espacial das variáveis ambientais. A aplicação de técnicas adicionais de aprendizado de máquina poderá contribuir para a identificação de padrões e anomalias, desde que os novos dados sejam submetidos aos procedimentos necessários de validação e calibração.

De forma mais ampla, a experiência evidencia o potencial da articulação entre sociedade civil, academia e tecnologias digitais para o enfrentamento de problemas ambientais urbanos. A continuidade da Plataforma Cidades Verdes poderá contribuir para transformar dados ambientais espacializados em informações de apoio ao planejamento territorial, à sustentabilidade e à resiliência urbana, mantendo como referência os princípios associados às cidades inteligentes e ao ODS 11.

Como desdobramento acadêmico, propõe-se a elaboração de uma versão ampliada deste relato para submissão a periódico científico indexado, considerando a relevância de sistematizar experiências que integrem sensores de baixo custo, IoT e aprendizado de máquina em contextos de gestão ambiental urbana. Ao final da segunda etapa, prevê-se também a

elaboração de um novo relato técnico, específico sobre a calibração de sensores de material particulado e a aplicação do algoritmo Isolation Forest na detecção de anomalias, dando continuidade ao registro sistemático da experiência.

Referências

ASPACER – Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento. (2025). Indústria cerâmica impulsiona geração de empregos e o desenvolvimento regional. ASPACER.

Mizutani, R. F. (2022). Exposição à poluição do ar ambiental em cidades de uma região produtora de cerâmicas: avaliação do impacto na função pulmonar de estudantes (Tese de doutorado, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo). https://doi.org/10.11606/T.5.2022.tde-25042023-115041

Motta, J. F. M., Christofoletti, S. R., Garcez, L. L., Florêncio, R. V. S., Boschi, A. O., Moreno, M. M. T., & Zanardo, A. (2004). Características do pólo de revestimentos cerâmicos de Santa Gertrudes–SP, com ênfase na produção de argilas. Cerâmica Industrial, 9, 1–6.

Oliveira, M. (2015). Caracterização mineralógica e química das fontes de poeira e sua influência na atmosfera da região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes (SP) (Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista).

Oliveira, M., et al. (2016). Características mineralógicas e granulométricas das fontes de poeiras no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes – SP. Cerâmica, 62(362), 198–205. https://doi.org/10.1590/0366-69132016623621973

Taştan, M. (2025). Machine learning-based calibration and performance evaluation of low-cost Internet of Things air quality sensors. Sensors, 25(10), 3183. https://doi.org/10.3390/s25103183

Zimmerman, N., et al. (2018). A machine learning calibration model using random forests to improve sensor performance for lower-cost air quality monitoring. Atmospheric Measurement Techniques, 11(1), 291–313.