

UNIVERSIDADE DO DISTRITO FEDERAL - UDF

**Autômato Modernizado "Lumos": Solução de Iluminação Pública Inteligente
para Smart Cities**

Alunos:

Alejandro Lopes Reategui RGM: 34125701
Artur Almeida Alves de Melo RGM: 1433363650
Gabriel Henrique Luiz Mendes RGM: 33890897
Jhonathan de Moura Santos RGM: 32813589
Melissa Aragão Leite RGM: 33999554



Fase I - Diagnóstico (O "Porquê")

1.1 Identificação do Objeto: O Autômato Tradicional sob a Ótica da Engenharia.

O foco deste projeto é a modernização do sistema de iluminação pública convencional. Sob as diferentes áreas que comportam as smart cities. Na perspectiva da **Engenharia**, o poste de luz atual opera estritamente como um autômato clássico: uma máquina que funciona com regras fixas e definidas, executando tarefas repetitivas sem intervenção humana complexa.

O funcionamento vigente ("As Is") baseia-se em componentes eletromecânicos simples:

- **Sensores Fotoelétricos (Fotocélulas)**: Detectam apenas a ausência de luz natural para fechar o circuito.
- **Temporizadores**: Ativam o sistema em janelas de tempo rígidas, sem considerar variáveis externas.

Este modelo apresenta uma limitação de engenharia crítica: a operação binária (ligado/desligado) resulta em consumo energético constante e máximo, ignorando os princípios de eficiência energética exigidos modernamente.

1.2 Deficiência Computacional: A Ausência de Sistemas Ciber-Físicos.

Do ponto de vista da **Ciência da Computação**, o atual sistema é obsoleto por ser desconectado. Em um contexto de Cidades Inteligentes, o termo "autômato" deve evoluir para Sistemas Ciber-Físicos (CPS) ou sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT).

O problema central é que a infraestrutura atual não processa dados. Ela carece de algoritmos capazes de realizar a leitura do ambiente (input) e ajustar a saída (output) de

forma inteligente. Ao contrário de soluções modernas que utilizam sensores para coletar dados e atuar como "cérebro" do sistema, o poste atual é um "hardware mudo", incapaz de se integrar a uma rede ou fornecer dados para Gêmeos Digitais (*Digital Twins*).

1.3 Impacto no Urbanismo e na Gestão da Cidade

No campo do **Urbanismo**, a iluminação pública é uma infraestrutura crítica que define como o espaço urbano é utilizado. O relatório do BID destaca que a gestão urbana deve evoluir do modelo tradicional para soluções inteligentes que otimizem o planejamento da cidade.

O sistema atual falha urbanisticamente ao tratar todas as vias da mesma forma. Ruas residenciais desertas recebem a mesma intensidade de luz que avenidas movimentadas, criando poluição luminosa e desperdício financeiro que poderiam ser redirecionados para outras áreas da infraestrutura urbana. O autômato modernizado **Lumos** propõe uma gestão do espaço baseada em dados reais de fluxo e ocupação.

1.4 Aprofundamento Sociológico e Urbanístico: O Colapso da Manutenção Reativa

Um dos pontos críticos do diagnóstico é a dependência de um modelo de manutenção reativa. Na engenharia de sistemas atual, a falha de um ponto de luz não gera um alerta automático. O sistema depende que um cidadão veja a falha, sinta-se motivado a ligar para o serviço público e registre uma reclamação.

Esta lacuna técnica gera consequências graves sob as óticas da **Sociologia** e do **Urbanismo**:

1. **O Cidadão como "Sensor Falho"**: Ao transferir a responsabilidade de monitoramento para o morador, o sistema cria "zonas de escuridão" prolongadas. Em áreas de maior vulnerabilidade social, onde a relação com o poder público pode ser fragilizada, a tendência é que as falhas não sejam reportadas, perpetuando a degradação do espaço urbano.
2. **Segurança e a Teoria das Janelas Quebradas**: A ausência de iluminação imediata impacta diretamente a percepção de segurança (*fear of crime*). Ruas escuras por dias ou semanas convidam à ocupação irregular e à criminalidade, desestimulando o uso do espaço público noturno e segregando a cidade.
3. **Ineficiência Operacional**: Sem telemetria (medição remota), as equipes de manutenção não conseguem planejar rotas otimizadas. O caminhão de reparo pode ir a um bairro consertar um único poste, sem saber que na rua ao lado há outro queimado, gerando custos de deslocamento e ineficiência na gestão pública, contrariando os princípios de Cidades Inteligentes.

Fase II – Solução: Arquitetura Tecnológica do Autômato Modernizado LUMOS

O autômato modernizado **Lumos** é uma evolução do poste de iluminação tradicional, que atualmente funciona como um autômato clássico e não executa processamento inteligente. Nesta fase, o poste passa a operar como um Sistema Ciber-Físico (CPS) baseado em Internet das Coisas (IoT), integrado a uma rede de dados e a uma camada de Inteligência Artificial, capaz de tomar decisões automáticas e preditivas para otimização da iluminação pública urbana.

A arquitetura proposta respeita os princípios de Cidades Inteligentes conforme a norma ABNT NBR ISO 37122, que define indicadores para eficiência energética, gestão sustentável e monitoramento remoto da infraestrutura urbana.

1. Estrutura Geral da Arquitetura Tecnológica

A arquitetura é organizada em cinco camadas principais, que representam o ciclo completo do fluxo de dados do autômato **Lumos**:

Camada	Função	Exemplos
Sensoriamento (Input)	Coleta de dados ambientais	Sensores LDR, PIR, câmeras, sensores de falha
Comunicação (Rede)	Envio dos dados	LoRaWAN, MQTT, Wi-Fi, 5G
Plataforma/ Nuvem	Processamento e armazenamento	Banco de dados + Edge Computing
Inteligência Artificial	Decisão Automatizada	Análise de padrão, detecção de falhas
Atuação (output)	Controle da iluminação	Ajuste de intensidade e alertas

2. Descrição de Cada Camada

2.1 Camada de Sensores (Input)

Os sensores instalados no poste coletam dados do ambiente:

- **LDR (luminosidade):** mede a intensidade da luz ambiente.
- **PIR (presença/movimento):** detecta fluxo de pessoas e veículos.
- **Sensor de falha:** detecta lâmpada queimada automaticamente.
- **Câmeras (opcional):** podem estimar densidade de circulação urbana.

Esses sensores substituem o modelo fixo e binário do poste tradicional, permitindo coleta de dados reais e contínuos.

2.2 Camada de Comunicação (Rede de Dados)

Os dados coletados são enviados para uma plataforma central usando protocolos de comunicação. Exemplos possíveis:

Tecnologia	Aplicação
LoRaWAN	Grande alcance com baixo consumo
Wi-Fi / 5G	Processamento em tempo real
MQTT	Protocolo leve para IoT
IPv6 / Edge Computing	Gerenciamento de dispositivos na rede

A rede permite integração de múltiplos postes formando uma malha inteligente urbana, conectada a sistemas de gestão pública.

2.3 Plataforma de Processamento (IoT + Nuvem)

Nesta etapa, os dados são armazenados e processados:

- Banco de Dados Temporal (InfluxDB / TimescaleDB)
- Edge Computing (processamento local rápido)
- Integração com Digital Twins do espaço urbano

- Histórico de consumo energético

A plataforma atua como o “cérebro operacional” do sistema e pode gerar dashboards de visualização para a prefeitura.

2.4 Camada de Inteligência Artificial (IA)

A IA analisa os dados e toma decisões automáticas:

- Ajuste dinâmico de intensidade luminosa
- Previsão de falhas → manutenção preditiva
- Detecção de comportamentos anormais no fluxo urbano
- Estimativa de economia energética

Base conceitual: IoT + CPS + IA aplicados à Smart Cities, conforme descrito por Byun et al. e por Chourabi et al.

2.5 Camada de Atuação (Output)

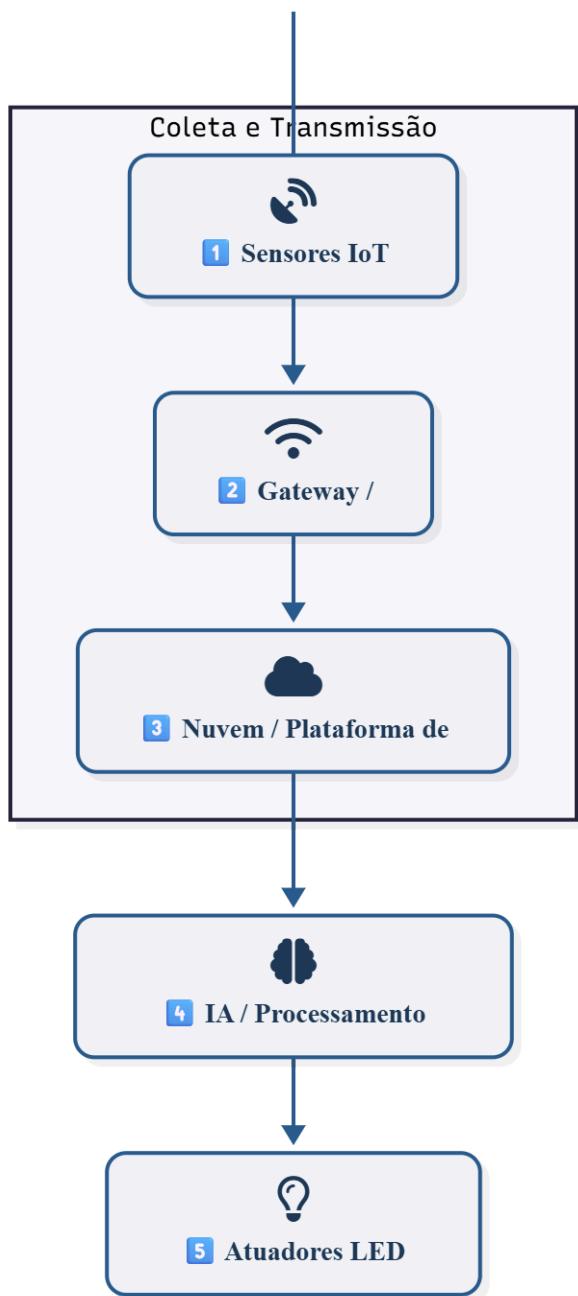
Após o processamento, o sistema envia o comando de volta aos atuadores da luminária LED, que realizam:

- Aumento/diminuição automática da luz
- Acionamento apenas quando houver presença
- Envio de alerta de falha para o setor de manutenção
- Registro automático da ocorrência para auditoria

Este fluxo elimina a dependência do cidadão como sensor falho, conforme apresentado no diagnóstico da Fase 1.

3. Diagrama Resumido do Fluxo de Dados (Data Flow)

Fluxo de Dados – Autômato LUMOS



Esse diagrama mostra claramente o caminho da informação, do ambiente físico até a decisão inteligente.

4. Tecnologias Adotadas no Projeto

Área	Tecnologia
Sensoriamento	LDR, PIR, Sensor de Falha
Protocolo	MQTT, IPv6, LoRaWAN
Rede	5G, Wi-Fi Mesh, Edge Computing
Banco de Dados	InfluxDB/ TimeSeriesDB
IA	Machine Learning Supervisionado
Interface	Dashboard Web / API REST
Apoio à Gestão Pública	Digital Twin Urbano

5. Conexão com Smart Cities

O LUMOS contribui para os eixos estratégicos de Smart Cities:

- Eficiência energética
- Melhoria da segurança urbana
- Redução de custos públicos
- Dados reais para planejamento urbano
- Manutenção preditiva e automatizada

6. Descrição das Novas Funcionalidades Inteligentes

A modernização do autômatos de iluminação pública não se limita à troca de lâmpadas convencionais, mas sim à sua conversão em um nó ativo e inteligente da infraestrutura

urbana. O projeto baseia-se nos conceitos de Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Infraestrutura Crítica e Gêmeos Digitais, conforme as diretrizes para a implementação de Smart Cities.

6.1. O Autômato como Sistema Ciber-Físico (CPS)

O poste de luz modernizado opera como um Sistema Ciber-Físico (CPS), integrando o mundo físico de coleta de dados e atuação com o mundo cibernético de processamento e comunicação.

* Componente Físico: Lâmpadas LED de alto rendimento, sensor de luminosidade (claro/escuro) e sensor de presença (pessoas/veículos).

* Componente Cibernético: Microcontrolador (Plataforma/IA) que processa os dados dos sensores e o horário, decide o estado da iluminação e se comunica com a rede da Smart City.

As funcionalidades de automação são definidas pelas seguintes regras de negócio, visando a economia de energia e a segurança pública:

* Iluminação em Repouso: Quando a luminosidade natural for baixa Madrugada/Noite e não houver detecção de presença, o sistema é mantido em Baixa Intensidade para garantir um nível mínimo de segurança e visibilidade.

* Iluminação por Demanda: Ao detectar a presença de pessoas ou veículos, a intensidade é elevada para Alta Intensidade na área de alcance do sensor, sendo reduzida para o estado de repouso após a ausência de movimento.

* Economia Diurna: O autômato permanece desligado se o sensor de luminosidade indicar luz natural suficiente.

6.2. Integração com a Infraestrutura Crítica

O autômato é elevado à categoria de componente de Infraestrutura Crítica ao se integrarativamente aos sistemas de gestão da cidade.

* Monitoramento da Eficiência Energética: O monitoramento contínuo do consumo KPI: Consumo de energia permite identificar picos, falhas na rede ou desperdício em tempo real, otimizando a distribuição de energia em nível local.

* Suporte à Segurança Pública: Em situações de emergência ou ocorrências (via comando remoto), o poste pode ser forçado para Alta Intensidade, melhorando a visibilidade na área e auxiliando na gestão de crises.

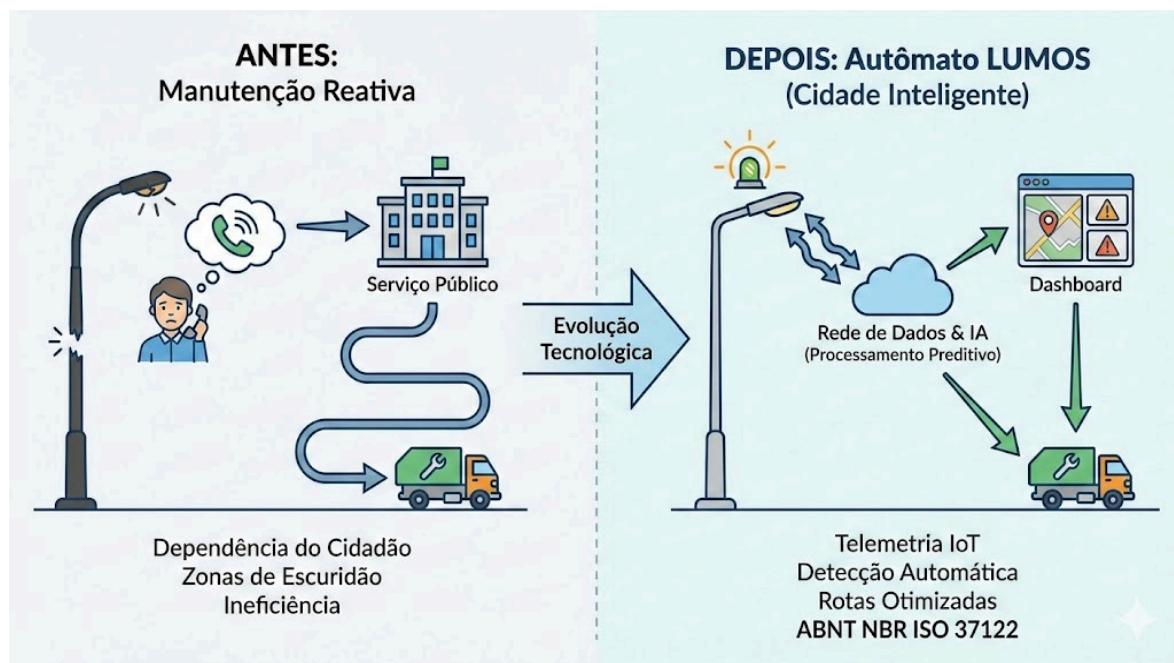
* Comunicação de Falhas: O sistema envia dados sobre o estado operacional da lâmpada para a central (KPI: Tempo de lâmpada ligada sem necessidade), agilizando a manutenção preditiva e reduzindo o Índice de reclamações de falta de iluminação.

6.3. Uso de Gêmeos Digitais (Digital Twins)

A rede de iluminação é espelhada em um Gêmeo Digital para fins de simulação, análise e otimização em larga escala.

* Otimização Centralizada: O Gêmeo Digital recebe dados em tempo real de todos os autômatos, permitindo simular cenários de tráfego, eventos ou mudanças climáticas. Com isso, é possível ajustar o ciclo de intensidade de grupos de postes de forma coordenada, maximizando a economia de energia sem comprometer a eficácia.

* Manutenção Preditiva: Com base nos dados de ciclo de vida e tempo de uso de cada lâmpada (coletados pelo CPS), o Gêmeo Digital pode prever a falha de componentes antes que ela ocorra, garantindo a substituição preventiva e a manutenção da qualidade do serviço.



* Testes de Política: Novas políticas de iluminação (e.g., redução de intensidade em horários específicos) podem ser testadas no ambiente virtual antes de serem aplicadas à infraestrutura física, garantindo a sustentabilidade e segurança da solução.

Fase III: Implementação e Resultado

A implementação do projeto solidifica a mudança do autômato de iluminação pública de um elemento isolado para um nó inteligente em uma cidade inteligente. Estabelecendo um guia prático para a realização e ativação da arquitetura tecnológica (hardware e software),

definindo as métricas quantitativas (KPIs) para acompanhar o sucesso da modernização, de acordo com a norma ABNT NBR ISO 37122.

1. Roteiro de Ação da Solução

A implementação visa garantir a estabilidade da rede de dados e a calibração dos algoritmos de IA.

- **Etapa 1: Adequação Física e Sensoriamento (Hardware)** Substituição das luminárias convencionais por LEDs possuindo controle de intensidade e integradas aos microcontroladores IoT. Instalação dos kits de sensores (LDR para luminosidade e PIR para presença). O "autômato" deixa de ser um hardware mudo e passa a ter capacidade de leitura ambiental.
- **Etapa 2: Conectividade e Formação da Malha (Rede)** Ativação dos protocolos de comunicação (LoRaWAN para longo alcance ou Mesh para densidade urbana). Configuração dos Gateways para transmissão dos dados coletados pelos postes para a nuvem, garantindo que não existam "zonas de sombra" de conexão na área de piloto.
- **Etapa 3: Integração com Gêmeo Digital e IA (Software)** Conexão dos dados de entrada (inputs) ao Digital Twin urbano para simulação. Início da operação do algoritmo de Machine Learning que irá realizar a análise dos padrões de tráfego e luz natural para automatizar a tomada de decisão de aumento ou diminuição da intensidade luminosa.
- **Etapa 4: Validação Operacional e Manutenção Preditiva** Ativação do sistema de alertas automáticos. O sistema será capaz de notificar a central de gestão após detectar falhas (ex:Uma lâmpada queimada), eliminando a necessidade de alerta por parte de um cidadão e otimizando a rota das equipes de reparo.

2. Definição de KPIs

Para realizar a comprovação da eficiência do Projeto e justificar o investimento público, foram definidos KPIs, alinhadas aos objetivos de eficiência energética e gestão inteligente descritos no relatório do BID.

1. KPI: Redução do Consumo Energético

- **Descrição:** Compara o consumo de kWh do sistema antigo (sempre em 100% da carga) versus o sistema Lumos (com ajuste dinâmico e "Iluminação em Repouso").
- **Meta:** Redução superior a 30% no consumo total da via monitorada.
- **Justificativa:** Atende ao princípio de eficiência energética exigido pela ABNT NBR ISO 37122.

2. KPI: Tempo Médio de Reparo (MTTR - Mean Time to Repair)

- **Descrição:** Mede o tempo decorrido entre a ocorrência de falha na lâmpada e o seu conserto.

- **Diferencial:** Com a telemetria do Lumos, o tempo de "detecção" cai para quase zero, permitindo que a métrica foque na agilidade da equipe de campo de reparo.
- **Justificativa:** Resolve o problema das "zonas de escuridão" e melhora a percepção da segurança.

3. KPI: Índice de Manutenção Preditiva vs. Corretiva

- **Descrição:** Percentual de intervenções realizadas *antes* da falha (baseadas na previsão de vida útil calculada pela IA) em relação às trocas emergenciais.
- **Justificativa:** Otimização de custos operacionais e redução de deslocamentos desnecessários de caminhões de serviço.

4. KPI: Taxa de Disponibilidade da Rede IoT

- **Descrição:** Percentual de tempo em que os autômatos permaneceram conectados e enviando dados para a plataforma central.
- **Justificativa:** Garante a robustez do Sistema Ciber-Físico (CPS) e a confiabilidade dos dados para o planejamento urbano.



Referências Bibliográficas

Fontes, normas técnicas e ferramentas tecnológicas utilizadas para o embasamento do projeto.

Normas e Relatórios Técnicos:

- ABNT NBR ISO 37122. *Cidades e comunidades sustentáveis – Indicadores para cidades inteligentes*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento). *Caminho para as Smart Cities: Da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente*. Relatório Internacional (Foco: Roteiro prático para gestores públicos).

Literatura Acadêmica e Livros:

- BYUN, J. et al. *Smart City Implementation Models Based on IoT Technology*. Artigo Acadêmico (Foco: Implementação de sensores e conectividade IoT).
- CHOURABI, H. et al. *Understanding Smart Cities: An Integrative Framework*. Artigo Acadêmico (Foco: Integração entre governança e tecnologia).
- CUNHA, M. A.; PRZEYBILOVICZ, E. et al. *Smart Cities: Transformação Digital de Cidades*. Rio de Janeiro: FGV (Foco: Visão do cidadão e contexto brasileiro).
- KOMNINOS, N. *Intelligent Cities: Innovation, Knowledge Systems and Digital Spaces*. Londres: Spon Press (Foco: Sistemas de inovação e conhecimento).
- PESQUISAS TÉCNICAS. *Cyber-Physical Systems (CPS) para o desenvolvimento de sistemas automatizados e modernizados*. (Literatura de apoio sobre infraestrutura crítica)

Ferramentas e Tecnologias (Documentação Técnica):

- Protocolos de Comunicação: *LoRaWAN*, *MQTT* e *IPv6* (Especificações para redes de baixa potência e longa distância).
- Banco de Dados: *InfluxDB* / *TimeSeriesDB* (Documentação técnica para armazenamento de dados temporais de sensores).
- Conceitos de Engenharia: *Cyber-Physical Systems (CPS)* e *Digital Twins* (Gêmeos Digitais) aplicados à infraestrutura crítica urbana.