

ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICO-FINANCEIRA E JURÍDICA PARA A ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO DE PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA PARA A OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, EXPANSÃO, OTIMIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE LEME-SP (PPP)

ESTUDO DE POTENCIAL DE RECEITAS ACESSÓRIAS

E

SOLUÇÃO DE CONECTIVIDADE

INTRODUÇÃO

A modernização da Rede de Iluminação Pública de um município com tecnologia LED permite a redução do consumo de energia em mais de 50%. Ao integrar junto às luminárias LED controladores inteligentes e conectados a uma rede se consegue uma redução adicional de até 30% no consumo de energia. O ganho em eficiência derivado da integração destes equipamentos já por si só deveria na maioria dos casos supor um incentivo suficiente para se considerar obrigatório o investimento em estes equipamentos no projeto de modernização mais, muito mais que os ganhos de eficiência, a Iluminação Pública Inteligente providencia a capacidade de criar uma plataforma que permite a integração de soluções e aplicações ligadas à Internet das Coisas (IoT) que, em conjunto, vão criar uma Cidade Inteligente e Conectada com o objetivo de melhorar as condições de vida na cidade nas áreas de segurança pública, gestão do trânsito, conforto dos moradores, saúde, conectividade, e muitas mais.

Ao se considerar a implementação de um sistema inteligente de Iluminação Pública conectado em rede, existem uma grande variedade de opções que podem ser usadas para alcançar os objetivos. Estas opções vão desde “Banda Ultra Estreita” (Ultra Narrow Band) com custos de aquisição e operação baixos, até opções mais custosas de Banda Larga (Broadband) de alta capacidade. A escolha de uma ou varias destas opções vai depender dos requerimentos da rede, da capacidade de investimento, assim como dos objetivos de longo prazo e necessidades futuras.

Este estudo analisa uma serie de tecnologias de conectividade e a aptidão das mesmas para uma plataforma/rede de Iluminação Pública. As características das tecnologias, incluindo custo, confiabilidade, segurança, latência, necessidades de energia, largura de banda e maturidade da tecnologia devem ser tidas em conta ao analisar as diferentes soluções que se pretende implantar na plataforma da rede de Iluminação Pública. Além da descrição e análise das tecnologias de conectividade, foram analisados 10 casos diferentes de aplicações de Smart City implantáveis na rede de Iluminação Pública e a aptidão de cada tecnologia de conectividade para cada caso.

JUSTIFICATIVA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE

As luminárias LED e as redes de telecomunicação estão transformando a Iluminação Pública. Como consequência destes avanços tecnológicos, as redes de Iluminação Pública das cidades estão se convertendo na plataforma para uma ampla variedade de inovações ligadas a uma Cidade Inteligente e Conectada (Smart City). A visão da rede de Iluminação Pública como uma Plataforma de Smart City é a próxima fronteira na Iluminação Pública.

A queda dos custos de aquisição e melhorias na qualidade de luminárias LED leva a que seja esta a opção ideal para a modernização das redes de Iluminação Pública. Os estudos realizados em redes de Iluminação Pública com tecnologia LED demonstram que existem ganhos de eficiência tanto no consumo de energia (>50%) como nos custos de manutenção (~30%). Porém, a instalação de luminárias LED deveria ser só o primeiro passo. A modernização da rede e troca de luminárias para tecnologia LED gera uma oportunidade única para, aproveitando a etapa de modernização, a instalação de uma rede de controle remoto (e controladores associados) do sistema de Iluminação Pública. Esta rede, por sua vez, permite o desenvolvimento de soluções e aplicações que permitirão economizar recursos, melhorar a segurança, a sustentabilidade, resiliência e competitividade na cidade e atrair novos negócios e pessoas à mesma.

BENEFÍCIOS DE UMA REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE

A convergência e desenvolvimento das tecnologias de Big Data, Computação na Nuvem (*Cloud*), Conectividade e inovação em Tecnologias da Informação e Comunicação como computação distribuída (Edge, Fog Computing), assim como o desenvolvimento e redução de custos de equipamentos e sensores conectados, formam a base para a criação de infraestruturas conectadas através de redes de telecomunicações, com capacidade para coletar uma grande quantidade de dados, analisar, classificar e armazenar a informação recebida e converter dados do mundo físico em dados digitais.

Conectar o sistema de Iluminação Pública através de uma rede controlada por computador abre a porta a uma série de capacidades inovadoras que permitem economizar energia e melhorar o rendimento do sistema de Iluminação Pública. Além dessas aplicações direcionadas exclusivamente à rede de Iluminação Pública, cabe a expansão para a implantação de soluções não ligadas diretamente à Iluminação Pública, convertendo o Sistema de Iluminação Pública em uma plataforma ubíqua para a implantação de aplicações de Smart City e IoT. Ao se desenvolverem as duas atividades ao mesmo tempo –modernização da Iluminação Pública e

implantação da rede de controle- se reduzem os custos totais e remove a necessidade de um segundo programa de instalação.

Por ultimo, um sistema inteligente permite a coleta dos dados de utilização e indicadores de desempenho individuais de cada ponto de Iluminação, assim como a análise e processamento dos dados para a criação de relatórios e informação precisa e pertinente. Si esta mesma rede inclui sensores y outros equipamentos voltados a aplicações específicas, a rede de Iluminação Pública do município se converte na plataforma para o desenvolvimento de uma Cidade Inteligente.

CONTROLE REMOTO DA INFRAESTRUTURA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Ao nível mais básico, os controladores das luminárias modernizadas providenciam características elementares como controle ligar/desligar, dimerização e funções de agendamento remoto do funcionamento das luminárias. Existe uma serie mais ampla de funções avançadas que podem ser habilitadas através de controladores inteligentes:

- **Monitoramento do consumo e cobrança da energia** – Informação precisa do consumo e horário de consumo de cada luminária inteligente. Isto é primordial à hora de controlar os custos de energia do sistema de Iluminação Pública. Quanto mais complexo se torne o sistema, mais importante será ter informação precisa e em tempo real do consumo de energia para a otimização do sistema e a geração de dados analíticos.
- **Geolocalização remota dos ativos de Iluminação Pública** – Os controladores inteligentes podem ser equipados com tecnologia GPS ou de localização via radiofrequência para conhecer o posicionamento exato do ponto de Iluminação. Isto melhora a eficiência à hora de realizar atividades de manutenção e melhora a gestão global do sistema de Iluminação Pública. Também serve para uma serie de aplicações posteriores ligadas a uma Cidade Inteligente.
- **Monitoramento de desempenho** – É um dos principais benefícios de uma rede inteligente de Iluminação Pública ao permitir aos gestores da rede o monitoramento remoto de incidências (desligamento, quebra, furto) e, além disso, a manutenção preditiva e preventiva individualizada de cada luminária, ao ter acesso a informações detalhadas de desempenho (localização da luminária, vida útil, eficiência luminosa, data de instalação, etc). Isto gera

grandes eficiências na gestão e manutenção da rede por um lado, e permite o monitoramento real da mesma por todas as partes envolvidas com dados reais e incontestáveis do funcionamento da mesma. No caso de uma PPP, isto diminui o custo associado à verificação independente do desempenho, facilita o acesso a informações por parte do parceiro publico e melhora a resposta em caso de incidentes por parte do parceiro privado o que se traduz em maior satisfação do cidadão.

- **Controle de Cores** – As primeiras instalações de luminárias LED estavam associadas com uma luz monótona e até desagradável. Porém com o avanço da tecnologia LED e o uso de controladores inteligentes, as luminárias LED podem ser controladas para ajustar a temperatura de cor das mesmas. Por exemplo, a cor pode se ajustar por razões de segurança pública, em caso de eventos especiais, ou para as diferentes necessidades de distritos residenciais ou comerciais.
- **Iluminação Adaptativa** – Sensores que monitorem as condições do local permitem a um sistema de Iluminação Pública Inteligente adaptar o nível de luminosidade segundo as necessidades no momento. Vincular o volume de transito pedestre e veicular ao nível de luminosidade via detectores de movimento e de medição do transito, por exemplo, leva a economia de energia considerável. Por outro lado, o monitoramento das condições climatológicas no local também permite adaptar a luminosidade em função de chuva, névoa, ou outras condições específicas, aumentando a mesma quando estiver chovendo, por exemplo, e diminuindo-a quando as chuvas pararem. Isto não só melhora a economia de energia, mais também permite melhorar as condições de segurança nas vias.



Ao controlar as luminárias individualmente, pode ser adaptado o funcionamento das mesmas em função das condições no local em tempo real.

- **Resposta a Emergências** – Um sistema de Iluminação Pública conectado a uma rede e sistema de controle remoto adiciona uma série de características para gerenciar situações de segurança pública ou emergenciais como, por exemplo, piscar as luminárias em frente de uma residência que os serviços de emergência estão procurando (melhorando o tempo de resposta e eficiência do serviço) ou aumentando a luminosidade na cena de um acidente ou crime. Outras aplicações comuns incluem o uso dos controles adaptativos para sinalizar áreas escolares em período de entrada ou saída dos estudantes, por exemplo.

APLICAÇÕES DE PLATAFORMA DE CIDADE INTELIGENTE

Além das capacidades avançadas de controle da Iluminação Pública, as redes de Iluminação Pública tem o potencial de suportar outras aplicações como parte de soluções de Internet das Coisas (IoT) para Cidades Inteligentes, a maioria destas aplicações são habilitadas ao conectar sensores ou outros dispositivos conectados à infraestrutura de Iluminação Pública e os dados coletados sendo analisados através da plataforma de Smart City criada a partir da rede de Iluminação Pública.

- **Monitoramento meio ambiental e da qualidade do ar** – A infraestrutura de Iluminação Pública permite habilitar sensores de qualidade do ar e ruído que podem ser rápida e efetivamente implantados em locais específicos ou para proporcionar monitoramento em tempo real de toda a cidade.
- **Monitoramento de Trânsito e Frotas**– Sensores de trânsito conectados à infraestrutura de Iluminação Pública habilitam um monitoramento preciso e flexível das condições de trânsito e congestionamento na cidade para informar as decisões dos gestores públicos. Os mesmos sensores, quando conectados a veículos, proporcionam a capacidade de monitoramento de frotas e do Transporte Público o que, junto com a análise dos dados coletados, permite uma maior eficiência e, entre outras aplicações, reduz os custos dos seguros ou permite a seguradoras oferecer planos em base a uso (*usage based insurance*).
- **Monitoramento de infraestruturas** – Sensores conectados à plataforma de Iluminação Pública e instalados em infraestruturas básicas das cidades como bueiros, pontes e túneis permitem monitorar em tempo real a saúde das infraestruturas da cidade ou advertir de ocorrências (enchentes) ou falhas (rachaduras em pontes, entupimentos). Permite uma

melhor gestão das infraestruturas e a programação de manutenções em base a dados constantemente atualizados.

- **Estacionamento Inteligente (Smart Parking)** – A infraestrutura de Iluminação Pública Inteligente proporciona a rede remota necessária para sensores dedicados ao monitoramento de espaços livres de estacionamento ou ser usada para conectar câmeras que usem software de detecção de veículos para prover informação sobre a ocupação dos espaços. 30% do trânsito em cidades é devido à pesquisa de estacionamento, problema que pode ser mitigado em grande parte por este tipo de aplicação.
- **Estações de Carregamento de Veículos Elétricos** – Existe uma tendência a nível global de transição a veículos elétricos, sendo que a maioria dos fabricantes já sinalizou que nos próximos anos irão fazer a transição da maioria da frota ofertada a modelos 100% elétricos ou híbridos, por não falar de empresas, como Tesla, que nasceram como fabricantes de carros elétricos. A transição a uma frota de veículos elétricos trará a necessidade de acesso a estações de carregamento ubíquas e conectadas à rede elétrica. A infraestrutura de Iluminação Pública Inteligente (que já terá capacidade de medição do consumo) tem o potencial de se tornar uma perfeita opção para a instalação destes sistemas.
- **Detecção e localização de tiros e outros sons** – Sistemas de detecção de tiros podem ser habilitados na infraestrutura de Iluminação Pública e usar a rede de Iluminação Pública Inteligente para a transmissão a informação dos eventos detectados. Sistemas avançados desta tecnologia permitem o envio de informação precisa sobre o incidente incluindo a localização do atirador e integração de monitoramento via vídeo. Os mesmos sistemas podem ser usados para outros tipos de incidências, tais que controle de incidências em aglomerações de pessoas ou eventos.

Além do uso de sensores diretamente conectados à infraestrutura de Iluminação Pública, existe a possibilidade de compartilhar esta infraestrutura inteligente para abordar uma ampla gama de aplicações que se beneficiam do compartilhamento da infraestrutura inteligente e os sensores conectados.

- **Controle Semafórico** – A rede de Iluminação Pública e os sensores conectados coletam os dados do nível de congestionamento, condições climatológicas, acidentes e outros eventos

que permitem o controle adaptativo dos semáforos em base as condições existentes em tempo real. Melhora o fluxo de transito, reduzindo o tempo de percurso, consumo de combustível e níveis de poluição. A integração com sistemas de emergência permite programar os semáforos para as equipes de emergência chegarem em tempos menores aos locais aonde são necessárias.

- **Medição Remota de Contadores** – Cada vez mais empresas de serviços de utilidade pública como elétricas, água e gás estão instalando medidores digitais para controlar o consumo nos locais (residenciais, comerciais, etc) ou sensores nas linhas para controlar fugas ou quebras e até prever possíveis problemas antes que estes ocorram. Ao compartilhar a rede de Iluminação Pública Inteligente, os medidores e sensores podem transmitir os dados sobre consumo, fugas, etc, ao centro de controle das empresas. Isto permite maior eficiência e controle sobre o consumo e maior eficiência e custos reduzidos para manutenção.

- **Colheita de Lixo Inteligente** – Sensores em lixeiras e depósitos de lixo usam ultra-som para detectar o nível de enchimento dos contenedores e, através da Plataforma de Iluminação Pública Inteligente informar das melhores rotas às equipes de colheita em função da necessidade. A plataforma está conectada com os aterros, centros de reciclagem e o próprio município, levando a grandes eficiências na cadeia de operação.

- **Mensagens Públicas e Sinalização Digital** – As possibilidades de criação de Redes de Informação Pública se multiplicaram nos últimos anos. Estas abrangem desde painéis de informações de transito e estacionamento, transmissões de informação pública e quiosques de informação dedicados. Ao vincular a rede de Informação Pública a sistemas de monitoramento em tempo real da rede de Iluminação Pública (estacionamento inteligente, transito, clima, acidentes, etc), se consegue a entrega de informação de maneira mais precisa e rápida. Uma rede que abranja toda a cidade, como a Iluminação Pública, permite além de enviar informações a painéis fixos, conectar diretamente com os cidadãos através de um rango mais amplo de dispositivos, como smartphones ou computadores de bordo dos carros.

- **Vídeo Vigilância em Alta Definição** – O uso de câmeras de alta definição está sendo cada vez mais adotado em cidades para melhorar os serviços como a segurança pública e monitoramento de transito e acidentes. Até poucos anos atrás, estas câmeras deviam estar

ligadas diretamente a uma rede fixa de banda larga. Porém, avanços nas tecnologias de comunicação e novas opções de conectividade permitem a conexão das mesmas através de redes sem fio. A infraestrutura de Iluminação Pública é uma candidata perfeita para a instalação deste tipo de equipamentos, além de poder se compartilhar a rede inteligente para a transmissão dos dados.

- **Mobile CrowdSensing** – Se refere a uma técnica pela qual um grande grupo de pessoas individuais que possuam um dispositivo habilitado com sensores e computador (tais que smartphones, tablets, wearables e computadores de bordo dos carros) compartilham de maneira coletiva os dados dos dispositivos para medir, mapear, analisar, estimar e inferir processos e ocorrências. Em resumo, é o compartilhamento e análise massiva dos dados dos sensores de dispositivos móveis. A maioria dos dispositivos móveis tem sensores para luminosidade (câmera), sons (microfone), localização (GPS) e movimento (acelerômetro). Por exemplo, o uso e análise dos dados do GPS combinado com os do acelerômetro podem ajudar à identificação de buracos nas estradas e logradouros das cidades, assim como os dados do microfone e o GPS pode ajudar a mapear a poluição sonora em todo o âmbito da cidade. Em definitiva, servem para a caracterização e mapeamento da cidade e para prover dados analíticos a tomadores de decisões.
- **Comunicação Veículo a Infraestrutura** – Com o desenvolvimento de novas gerações de tecnologia de conectividade e tecnologia de veículos conectados com grãos diferentes de autonomia, existe a necessidade de oferecer infraestruturas conectadas que possam se comunicar com estes veículos e receber e transmitir dados relevantes sobre o local em tempo real, especialmente em ambientes com alta densidade veicular e pedestre, assim como complexidade viária. A infraestrutura de Iluminação Pública, dada a densidade, uniformidade e ubiquidade da mesma nas cidades é a plataforma perfeita para integrar os sensores e módulos necessários para viabilizar este tipo de aplicações.

A INFRAESTRUTURA DA REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA INTELIGENTE COMO PLATAFORMA DE SMART CITY

O desenvolvimento de redes com capacidade para suportar diversos tipos de aplicação ao mesmo tempo (multiplicação) supõe uma oportunidade imensa para acelerar o desenvolvimento de Cidades Inteligentes e Conectadas e a inovação no espaço urbano. Ao projetar uma Infraestrutura de Iluminação Pública Inteligente e conectada que possa servir

como plataforma para outras aplicações, e mesmo as funções mais avançadas próprias da rede de Iluminação Pública elencadas acima, a tecnologia e tipo de rede devem ser tidos em conta para garantir o suporte das funcionalidades e aplicações. A seguir, se descrevem as necessidades que as diferentes aplicações devem ter em conta para os diferentes tipos de aplicações e soluções.

Ao modernizar a rede de Iluminação Pública de um município e incorporar funções de telemetria e telegestão na fase de modernização, existe uma maior complexidade à hora de escolher as tecnologias e nas decisões de investimento a serem feitas. Existem varias tecnologias de rede diferentes que servem como base para a plataforma de Iluminação Pública Inteligente. Si, além das funções básicas de telemetria e telegestão o objetivo e dimensionar a rede para que suporte outro tipo de aplicações, as decisões se tornam mais complexas.

Existem varias tecnologias de conectividade que competem e podem ser usadas para suportar as necessidades do sistema de Iluminação Pública. Estas opções de conectividade configuram um espectro que vai desde as que têm custos relativamente baixos e soluções de fácil implantação, até as mais caras que se configuram em sistemas de alto desempenho para as soluções mais demandantes.

Entender as necessidades de comunicação para cada solução de smart city –começando pela telemetria e telegestao do sistema de Iluminação Pública- serve para guiar as decisões futuras de implantação das soluções iniciais e outras possíveis que venham a configurar os projetos associados à modernização da Iluminação Pública do município. Cada aplicação terá uma serie de prioridades relativas à velocidade de transmissão dos dados, largura de banda, segurança e custo, por exemplo, e que deverão ser tidas em conta à hora de dimensionar a rede pelas futuros LICITANTES.

Para a gestão remota do sistema de Iluminação Pública podem se englobar as aplicações em dois grupos, dependendo das características:

- **Controles e Gestão Básicos de Iluminação** – Controles básicos como ligado/desligado, dimerização e comandos pré-agendados não supõe uma grande carga na rede de telecomunicação. Os fatores mais importantes a serem tidos em conta para este tipo de comandos são a confiabilidade e o baixo custo. Historicamente, uma serie de sistemas diferentes vem sendo usados para este tipo de comandos, incluindo PLC, sistemas celulares 2G e sistemas proprietários de RF.

- **Controles e Gestão Avançados de Iluminação** – Este tipo de controle e gestão da rede de Iluminação Pública introduz uma série mais ampla de funcionalidades e controles que requerem de uma resposta mais rápida e maior segurança na rede. Existe, além da especificação inicial de funções, o quesito de que funções adicionais irão ser adicionadas ao longo do tempo pelo qual a habilidade da rede para acomodar as futuras atualizações é mais importante. A gestão avançada da Iluminação também pressupõe a capacidade da rede para integrar sensores básicos ligados à Iluminação e controlar e gerenciar iluminação específica (de destaque, em zoneamento escolar, etc).

Uma vez que tem que se considerar que a rede deve suportar outras funcionalidades e aplicações não ligadas ao controle de Iluminação Pública mais que vão usar a infraestrutura de Iluminação Pública como plataforma, o cenário se torna mais complexo e as características de conectividade podem mudar, necessitando um dimensionamento diferente.

As funcionalidades e aplicações podem ser classificadas em 3 categorias diferentes, dependendo das necessidades de conectividade e criticalidade dos sistemas que a rede deve suportar.

- **Aplicações de monitoramento** – Aplicações como monitoramento de clima, de som, de trânsito e atividade pedestre, assim como leitura de medidores de serviços básicos (água, luz, etc) que supõem uma demanda leve na rede. Estas aplicações não precisam, em geral, de atualização constante de dados nem de envio de comandos críticos. A atratividade de um sistema de Iluminação Pública como plataforma de Cidade Inteligente e Conectada está baseada na capacidade de instalar e implantar uma maior variedade de sensores em um maior número de locais para coletar novos dados sobre a cidade. A facilidade de implementação, custos de operação reduzidos e abrangência da rede são normalmente os fatores mais importantes a serem tidos em conta.
- **Sistemas Operacionais** – Aplicações tais que smart parking, detecção de tiros, e sistemas de coleta de lixo inteligentes, assim como aplicações de CrowdSensing precisam de redes que assegurem a coleta, análise e envio da informação de maneira segura e precisa. O tempo de resposta e envio de informações é importante em este tipo de aplicações, em quanto a latência da rede não supõe uma necessidade crítica, podendo ser média ou médio-alta já que a atualização dos dados em tempo real não é crítica na maioria dos casos.
- **Sistemas críticos** – O controle de semáforos, câmeras IP, e outros equipamentos operacionais críticos requerem de uma alta segurança e uma rede com alta confiabilidade.

Estas aplicações requerem uma largura de banda significativa e latências pequenas para serem implantadas com sucesso já que a capacidade de acionamento em tempo real e a transmissão de uma quantidade de dados alta são importantes para o funcionamento das aplicações. Na prática, supõe o desenvolvimento de uma rede de banda larga dedicada ou outra infraestrutura similar.

Mensagens públicas e sinalização digital abrangem muitas aplicações diferentes que terão necessidades diferentes de conectividade, segurança e velocidade. Por exemplo, propagandas ou informações básicas não vão requerer de uma rede muito responsiva, já informações relacionadas a situações críticas de trânsito ou segurança precisarão de maior segurança na transmissão e velocidade. Ao longo do desenvolvimento de uma plataforma de Cidade Inteligente, na qual o objetivo deveria ser a interligação das bases de dados e diferentes sistemas de uma cidade, as necessidades de conectividade passarão a ser mais exigentes.

OPÇÕES DE REDE – DESDE ULTRA-NARROWBAND ATÉ BROADBAND

Existem múltiplas tecnologias de rede que podem ser usadas para a conectividade das aplicações de Iluminação Pública e a Plataforma de Smart City associada. As tecnologias de conectividade podem ser classificadas pela largura de banda que utilizam, desde tecnologias de ultra-narrowband e narrowband como LoRa e RPMA, até conectividade broadband como Wi-Fi ou 4G.

Ao se considerar uma rede para atender a infraestrutura e equipamentos de Iluminação Pública, assim como o possível atendimento a outras tecnologias e aplicações ligadas a esta infraestrutura, deve se ter em consideração a natureza e o dimensionamento da mesma:

- **Custo** – A rede de Iluminação Pública abrange a área inteira do município e milhares de nodos finais e os dispositivos a instalar em cada um deles. Quando se acrescentarem outras aplicações tais que estacionamento inteligente, monitoramento de trânsito e de clima, etc...o número de dispositivos conectados pode chegar aos milhões. Devido ao grande número de dispositivos a ser conectado, o custo unitário dos equipamentos para conectividade é muito importante à hora de realizar retornos sobre o investimento (ROI).
- **Alcance operacional** – Qualquer rede sem fio que precise de conexão à Internet precisa trabalhar através de um Ponto de Acesso de um tipo ou outro: gateway, concentrador,

ou similar. A rede de Iluminação Pública Inteligente e Conectada precisa ter em conta o custo dos nodos finais e o custo da infraestrutura de Pontos de Acesso necessária para suportar a aplicação. O alcance operacional, definida como a distancia máxima permitida entre um nodo final e o Ponto de Acesso, pode ter um impacto significativo no custo da infraestrutura a ser implantada. O Alcance determina o numero e localização dos Pontos de Acesso necessários para cobrir a área de operação da rede. Normalmente, quanto maior o alcance, menor o custo de implantação da infraestrutura.

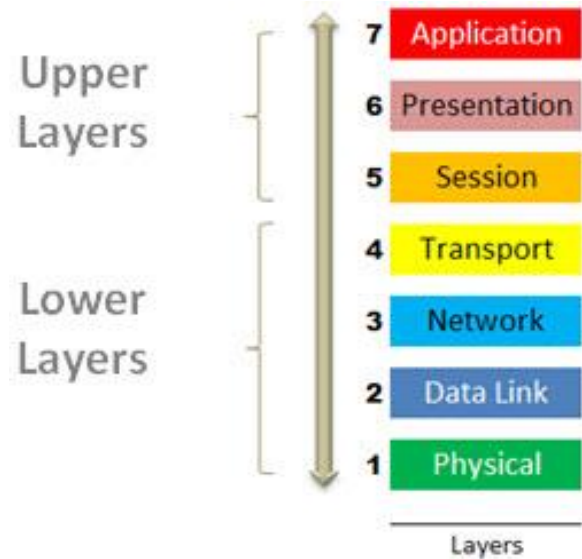
- **Escalabilidade** - O dimensionamento inicial da rede a ser implantada pode provavelmente cobrir sem problema um caso de uso específico, como pode ser a gestão remota do sistema de Iluminação Pública. Porém, é muito razoável –e muito provável– que varias aplicações venham a depender da mesma rede e na mesma área de abrangência. Si os diferentes dispositivos e nodos finais necessários para a implantação das aplicações (gestão remota de Iluminação Pública, sistema de colheita de lixo inteligente, detecção de tiros, etc) compartilham os mesmos Pontos de Acesso – do mesmo jeito que milhares de celulares diferentes utilizam as mesmas torres celulares–; então o numero de dispositivos finais que um Ponto de Acesso específico pode suportar se converte em um aspecto limitador da capacidade da rede. Mesmo nos casos nos quais os dispositivos não compartilham o mesmo Ponto de Acesso mais sim compartilham a mesmo espectro de frequência, um incremento no numero de instalações pode limitar o alcance operacional da rede devido ao incremento do nível de ruído. No pior dos casos, a saturação na capacidade dos canais pode impedir a implantação de novas aplicações.

Além destas três considerações básicas, embaixo se apresentam outros parâmetros considerados desejáveis em uma rede que deverá cobrir toda a área do município para resultar operacional:

- **Penetração** – Algumas aplicações precisam de o nodo final estar localizado dentro de imóveis ou em locais subterrâneos enquanto o Ponto de Acesso para a rede de Iluminação Pública está localizado em algum ponto da infraestrutura de Iluminação Pública, ao ar livre. Em este tipo de aplicações, o alcance da rede pode estar consideravelmente limitado devido à absorção das paredes ou solo. Esta absorção é dependente da frequência de transmissão, sendo que frequências mais baixas em geral oferecem melhor penetração que as mais altas.

- **Roaming** – Muitas aplicações potenciais da rede, incluindo a gestão e operação remota da Iluminação Pública, têm nodos finais e dispositivos fixos. Porém, existem outras nas quais os nodos finais estão em movimento e deverão ser suportados por diferentes Pontos de Acesso, dependendo da localização dos mesmos. A maioria das opções de conectividade oferece suporte para nodos em movimento de um setor a outro (roaming), mais variam na velocidade de adaptação da rede à alteração das relações. Dependendo da aplicação específico, esta velocidade de adaptação da rede pode ser importante ou ter uma repercussão insignificante no desempenho da aplicação.
- **Processamento de mensagens curtas** – Enquanto várias aplicações vão necessitar uma comunicação frequente com um volume de dados considerável, várias outras só precisarão se comunicar de forma esporádica e volumes de dados muito reduzidos. A habilidade da rede para processar mensagens curtas de forma eficiente pode ter um efeito benéfico sobre a escalabilidade da rede e o consumo de energia dos dispositivos. O processamento de mensagens inclui o overhead para configuração da conexão, interrogação, reconhecimento de mensagens, etc.
- **Comunicação Bidirecional** – Alguns dos nodos (dispositivos) finais só precisarão retransmitir dados e não os receber. Porém, uma comunicação bidirecional agrega grande valor e permite funcionalidades importantes desde o ponto de vista da confiabilidade da transmissão de dados (*handshaking*, por exemplo), da segurança (intercambio de autenticações) e a atualização remota do firmware dos dispositivos, assim como o controle remoto dos mesmos. Desde o ponto de vista específico da segurança, é de suma importância que exista a possibilidade de realizar atualizações através da rede dos dispositivos para proteger contra vulnerabilidades em tempo real.
- **Segurança na comunicação** – Dados sensíveis precisam de um link de comunicação seguro entre os nodos finais e o Ponto de Acesso. Mesmo si os dados transmitidos não sejam de natureza sensível, a segurança é uma prioridade. Sem segurança nas comunicações, a rede fica aberta a possíveis ataques, como a inserção de dados falsos nos nodos finais (*spoofing*) o que leva à corrupção dos dados coletados, a inserção de Pontos de Acesso fraudulentos na rede para sequestrar dados, até o pirateio da rede inteira e os dispositivos a ela conectados.

- **Serviços de alto nível** – Ao dimensionar e implementar a rede, podem se definir os níveis em função do modelo de referencia de camadas OSI da ISO (*Open Systems Interconnect*; Interconexão de Sistemas Abertos, em português); desde as camadas físicas e de enlace de dados até a camada de aplicações. Pode se dimensionar a rede para abrir as camadas superiores, criando um ecossistema de parceiros tecnológicos que ofereçam serviços e aplicações específicas de alto nível.



Modelo de Referencia de Camadas OSI/ISO

- **Maturidade** – O setor de conectividade para redes de IoT está em constante amadurecimento mais continua sendo uma industria nascente. Por isso, é sempre importante ter em conta o nível de desenvolvimento atual tanto a nível global como no Brasil assim como o ecossistema de parceiros que suportam as diferentes tecnologias antes de se decidir por uma tecnologia ou outra, com especial ênfase no suporte e desenvolvimento de alternativas para a gestão de uma rede baseada na infraestrutura de Iluminação Pública.

A tabela a seguir inclui as características mais relevantes das tecnologias de conectividade mais representativas do mercado que podem ser usadas para Iluminação Pública e a plataforma de Cidade Inteligente e Conectada associada.

	Tecnologia	Custos de Aquisição	Custos de Operação	Confiabilidade	Segurança	Requerimento Energia	Latencia	Largura de Banda	Maturidade (Brasil)
Narrowband	SigFox	Muito Baixos	Muito Baixos	Media-Alta	Media	Muita Baixa	Muita Alta	Muita Baixa	Em Implantação
	LoRa	Baixos	Baixos	Media-Alta	Media	Muita Baixa	Alta	Baixa	Em Implantação
	NB-IoT	Muito Baixos	Medios-Baixos	Alta	Alta	Muita Baixa	Media-Alta	Baixa	Lançamento 2018
	RPMA	Baixos	Baixos	Media-Alta	Media	Muita Baixa	Media-Alta	Baixa	Em Implantação
	WiFi HaLow	Medio-Baixos	Muito Baixos	Media	Media	Media	Media-Baixa	Baixa	Em Implantação
	LTE-Cat-M1	Muito Baixos	Medios-Baixos	Alta	Alta	Muita Baixa	Media	Baixa	Lançamento 2018
Medium Band	RF Mesh	Medios-Baixos	Baixos	Alta	Media-Alta	Baixa	Media	Media	Implantada
	Hibrido PLC/RF	Medios-Baixos	Baixos	Alta	Media-Alta	Baixa	Media	Media	Implantada
	LTE-Cat-1	Baixos	Medios	Alta	Alta	Media	Media-Baixa	Media Alta	Implantada
Broad Band	3G/4G Celular	Baixos	Medios-Altos	Alta	Alta	Alta	Baixa	Alta	Implantada
	Wi-Fi	Medios-Altos	Muito Baixos	Media	Media-Baixa	Media-Alta	Baixa	Alta	Implantada
	Pt2Mpt	Medios-Altos	Muito Baixos	Alta	Media-Alta	Media	Baixa	Alta	Implantada

OPÇÕES DE REDES - Narrowband

Opções de redes Narrowband, também conhecidas como Low Power Wide Area Networks ou LPWAN (Redes de Baixa Potencia e Área Ampla, em português) incluem tecnologias proprietárias como Sigfox, RPMA, LoRa, e os padrões baseados em tecnologia celular (LTE) NB-IoT (NarrowBand IoT) e LTE Cat M-1.

As tecnologias de Narrowband estão caracterizadas por custos muito baixos para a maioria dos equipamentos –as rádios podem custar menos de 10 dólares- e os custos de operação e serviço – dependendo da tecnologia e o uso, poucos dólares ao ano.

A pouca largura de banda e energia necessárias para operação e comunicação dos dispositivos fazem que este tipo de tecnologias abranja grandes áreas com poucos concentradores, também chamados de gateways, para a comunicação entre os dispositivos finais (sensores, luminárias, etc) e o concentrador, o que diminui os custos de implantação de uma rede própria, si esta for necessária.

Soluções baseadas em tecnologias LPWAN também oferecem boa propagação para chegar a dispositivos localizados em interiores ou subterrâneos. Mesmo que não necessariamente uma das prioridades para uma rede de Iluminação Pública que opera em ambientes exteriores, sim oferece vantagens si esta for utilizada para aplicações de monitoramento de medidores de consumo ou outros dispositivos localizados em ambientes interiores ou no subsolo.

A maioria das tecnologias LPWAN foram desenvolvidas especificamente para aplicações de Internet das Coisas (IoT) e comunicação maquina a maquina (M2M), tendo em conta as necessidades específicas deste tipo de aplicações. Quando as aplicações a serem implantadas na plataforma da rede de Iluminação Pública estão ligadas principalmente ao controle básico da Iluminação Pública, no qual não existe uma necessidade de comunicação frequente com os controladores das luminárias e o volume de dados transmitidos é baixo, uma rede baseada unicamente em LPWAN é uma opção muito atrativa, dado o baixo custo de implantação e operação da mesma. Outras aplicações que não necessitam de comunicação frequente nem muito volume de dados incluem a colheita de lixo inteligente, aplicações de monitoramento climático e outros sensores básicos e monitoramento básico de estacionamento (smart parking).

CARACTERÍSTICAS BASICAS DAS TECNOLOGIAS - Narrowband

SIGFOX

Sigfox é uma tecnologia de comunicação para IoT proprietária, criada e distribuída pela empresa do mesmo nome. Sigfox trabalha com espectro não licenciado e utiliza uma largura de banda muito pequena o que leva a umas necessidades de backhaul muito pequenas. A Sigfox tem como objetivo criar a infraestrutura da rede de forma proprietária a nível global, sendo que a maioria da cobertura atual existe na Europa e grandes cidades dos Estados Unidos. No Brasil a empresa está começando a implantação da rede em alguns pontos em parceria com uma operadora local.

Vantagens

- **Leve** – Sigfox suporta as taxas de transmissão mais baixas dentro das tecnologias LPWAN o que permite a inclusão de dispositivos muito pequenos na rede com uma relação custo/benefício muito boa.
- **Baixo Custo** – Os nodos de comunicação Sigfox tem um custo muito baixo e podem ser implementados em locais inconspícuos, incluindo a própria luminária ou na infraestrutura da rede de Iluminação Pública. O alcance por nodo é muito alto ao se tratar de uma tecnologia LPWAN, pelo qual os custos de aquisição são baixos. Os custos dos dispositivos habilitados com tecnologia Sigfox também são baixos.

Inconvenientes

- **Tecnologia Proprietária** – Sigfox é uma tecnologia proprietária com um único fornecedor. O desenvolvimento de uma rede usando tecnologia Sigfox depende da própria empresa, ao ser esta a que implanta a rede e proporciona os servidores. Porém, existe a possibilidade de criar uma rede *ad hoc*, dependendo do tamanho. Ao depender unicamente de uma empresa, a viabilidade de longo prazo dos projetos dependerá da viabilidade da própria empresa.
- **Limitações de casos de uso** – O protocolo de comunicação Sigfox coloca limitações estritas no número e tamanho das comunicações por dia o que pode impedir o desenvolvimento de aplicações usando esta tecnologia si as mesmas requerem de maior volume ou frequência de transmissão.

- **Espectro aberto** – Ao usar bandas de frequência abertas, existe a possibilidade de maior interferência, especialmente si o número de dispositivos conectados cresce significativamente.

RPMA (Ingenu)

Ingenu desenvolveu uma rede própria de comunicação exclusiva para IoT com o objetivo de desenvolvê-lo em escala global. A rede Ingenu usa uma tecnologia proprietária chamada *Random Phase Multiple Access* –RPMA (Acesso Múltiplo em Fase Aleatória, em português). A arquitetura da rede RPMA e suas características permitem a cobertura de grandes áreas com muita pouca infraestrutura. Opera na banda de frequência de 2.4 GHz a nível mundial e atualmente a maioria da infraestrutura está localizada nos Estados Unidos. No Brasil a empresa está começando a implantação da rede em alguns pontos em parceria com uma operadora local.

Vantagens

- **Grande Alcance** – As características da tecnologia permitem a cobertura de uma mesma área, quando comparada com tecnologias LPWAN similares, com até 20 vezes menos nodos.
- **Mesma Frequência** – Ao usar sempre a frequência 2.4 GHz, simplifica a implantação da rede e também ajuda na compatibilidade com outros dispositivos. Também, ao usar a mesma frequência que WiFi, existe uma ampla compatibilidade e possibilidade de interoperabilidade.
- **Capacidade** – A infraestrutura de rede permite suportar grandes volumes de dados em comparação com outras tecnologias de LPWAN.

Inconvenientes

- **Tecnologia Proprietária** – RPMA é uma tecnologia proprietária com um único fornecedor para a rede. O desenvolvimento de uma rede usando tecnologia RPMA depende da implantação da rede pela própria empresa. Porém, existe a possibilidade de criar uma rede privada *ad hoc*. Ao ser a tecnologia propriedade de uma única empresa, a viabilidade em longo prazo depende da viabilidade da própria empresa.

- **Espectro aberto** – Ao usar bandas de frequência abertas, existe a possibilidade de maior interferência, especialmente si o número de dispositivos conectados cresce significativamente.

LoRa

LoRa é uma especificação de LPWAN criada por uma aliança internacional (LoRa Alliance). A especificação de LoRa foi criada para a conectividade de dispositivos que transmitam poucos dados com uma frequência relativamente baixa em uma área aonde esteja implementada a infraestrutura LoRa. LoRa foi criado para ter em conta a mobilidade dos dispositivos dentro da área de implantação da infraestrutura.

Vantagens

Protocolo aberto – LoRa, mais que uma tecnologia definida, é uma especificação. Sempre que esteja desenvolvida atendendo a especificação, qualquer empresa pode desenvolver uma infraestrutura de rede própria em base a LoRa. Porém, existe a necessidade de pagamento de licenças à empresa criadora da especificação (Semtech).

- **Alcance** – LoRa foi desenhada para ter um grande alcance e cobrir grandes áreas, sendo uma tecnologia LPWAN.
- **Baixo consumo de energia** – LoRa consome pouca energia o que é importante para dispositivos não conectados a uma fonte de energia estável ou que operem com baterias.
- **Custo** – O protocolo aberto com grande alcance e baixo consumo de energia leva a ser uma opção com custo de aquisição e operação baixo devido a estas características.

Inconvenientes

- **Limitações de largura de banda e transmissão** – Ao ter limitações no volume de dados e frequência para transmissão, esta tecnologia se torna pouco idônea para alguns tipos de aplicações, especialmente qualquer que precise de volumes de dados constantes ou grandes volumes para funcionar.
- **Infraestrutura dedicada** – Ao não existir uma empresa específica ou grupo delas que sejam fornecedoras da infraestrutura, em geral qualquer rede em base a LoRa deverá ser

implantada desde zero para o projeto, o que pode levar a custos de implantação da rede mais altos.

- **Espectro aberto** – Ao usar bandas de frequência abertas, existe a possibilidade de maior interferência, especialmente si o número de dispositivos conectados cresce significativamente.

LTE CAT M1

LTE (Long Term Evolution) é a geração atual de tecnologia usada para fornecer voz e dados sem fio –também pode ser chamada de tecnologia celular- a nível global, também conhecida como 4G. Como tecnologia celular, é conhecida pelas altas taxas de transmissão de dados e eficiência de espectro.

LTE CAT M1 é uma nova categoria de dispositivo dentro do padrão LTE desenvolvida para suportar dispositivos de IoT ao mesmo tempo que utiliza uma infraestrutura comum (a rede celular 4G). O padrão LTE CAT M1 está definido pela 3GPP, aliança que desenvolve e mantém os padrões de tecnologia celular a nível global.

Vantagens

- **Suporte das operadoras e disponibilidade** – As operadoras a nível internacional já implantaram o LTE CAT M1 dentro da rede 4G no ano 2017. No Brasil, estão já em fase de teste e prevêem a implantação do LTE CAT M1 em 2018.
- **Taxa de Transmissão de Dados** – LTE CAT M1 suporta maiores taxas de transmissão de dados que as outras tecnologias englobadas na categoria de LPWAN, sendo a tecnologia mais robusta em este sentido, o que permite casos de uso para aplicações que necessitam de maior taxa de transmissão de dados e menor latência.
- **Espectro Licenciado** – LTE CAT M1 usa espectro licenciado pelo governo o que significa que não existem problemas de interferência com outras bandas.
- **Infraestrutura Existente** – LTE CAT M1 usa a infraestrutura da rede celular existente o que minimiza o custo de implantação da rede e a complexidade do projeto.

Inconvenientes

- **Espectro Licenciado** – Ao mesmo tempo em que existem vantagens ao usar espectro licenciado, existem inconvenientes ligados primordialmente ao custo de transmissão dos dados a ser pago às operadoras. Dependendo da aplicação, o pagamento pelo uso do espectro licenciado pode inviabilizar desde o ponto de vista econômico a implantação da mesma.
- **Consumo de energia** – A tecnologia leva a consumos maiores de energia, o que pode inviabilizar aplicações nas quais a fonte de energia seja uma bateria.

NB IoT

Narrowband IoT ou NB IoT é uma interface de transporte que utiliza a infraestrutura celular existente para a comunicação de dados. Exibe todas as características do resto de tecnologias LPWAN - alcance, consumo de energia baixo, taxas de transmissão ajustadas às necessidades dos dispositivos- com a particularidade de que, como falado, usa a rede celular existente no espectro controlado pelas operadoras.

NB IoT usa em geral as bandas de espectro antes ocupadas por tecnologias 2G (GSM), mais também está habilitado para usar as bandas de evoluções posteriores (3G e 4G). O padrão NB IoT está definido pela 3GPPP, aliança que desenvolve e mantém os padrões de tecnologia celular a nível global.

Vantagens

- **Infraestrutura Existente** – LTE CAT M1 usa a infraestrutura da rede celular existente o que minimiza o custo de implantação da rede e a complexidade do projeto.
- **Espectro Licenciado** – LTE CAT M1 usa espectro licenciado pelo governo o que significa que não existem problemas de interferência com outras bandas.
- **Padrão suportado e aberto** – O padrão NB IoT é desenvolvido e suportado pela 3GPPP, qualquer empresa que se adira ao padrão pode desenvolver equipamentos e aplicações.
- **Consumo de energia** – NB IoT foi desenhado especificamente para ter em conta o consumo de energia, já que a maioria das tecnologias celulares são muito pouco eficientes em este sentido.

Inconvenientes

- **Compartilhamento de bandas** – NB IoT compartilha diferentes bandas dentro do espectro celular e as operadoras tendem a priorizar a transmissão de pacotes de voz e dados na frente da transmissão por dispositivos NB IoT, o que pode levar a atrasos na transmissão e maior latência. Também, à hora de realizar roaming (para dispositivos moveis), o compartilhamento de diferentes bandas pode levar a problemas no cadastro do dispositivo entre áreas.
- **Tecnologia competitiva** – Mesmo sendo que os casos de uso entre NB IoT e LTE CAT M1 possam ser diferentes, existe o problema de serem duas tecnologias diferentes oferecidas pelas operadoras para o mesmo mercado com a aparência de competição entre as duas. Podem existir problemas de *sunsetting* de uma ou outra, dependendo da adoção das mesmas.
- **Espectro Licenciado** – Ao mesmo tempo em que existem vantagens ao usar espectro licenciado, existem inconvenientes ligados primordialmente ao custo de transmissão dos dados a ser pago às operadoras. Dependendo da aplicação, o pagamento pelo uso do espectro licenciado pode inviabilizar desde o ponto de vista econômico a implantação da mesma.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS TECNOLOGIAS – Medium Band

Entende-se como Medium Band opções de conectividade que oferecem a possibilidade de maior volume de dados e, em geral, maior velocidade de transmissão dos mesmos, quando comparadas com as opções de Narrow Band. Tecnologias de Medium Band estão disponíveis faz um tempo maior e oferecem flexibilidade a um custo relativamente baixo.

A continuação são resumidas as opções de conectividade Medium Band mais usadas.

PLC – Power Line communication

A tecnologia PLC é interessante desde o ponto de vista de uma rede de Iluminação Pública porque o tráfego de dados ocorre na mesma linha de transmissão que já conecta a maioria das luminárias públicas. Esta tecnologia é usada significativamente para o monitoramento de redes de transmissão de energia elétrica e adaptada para o controle da Iluminação Pública (Smart Grid).

A tecnologia vem sendo usada, principalmente na Europa, aonde existem linhas de transmissão dedicadas para a Iluminação Pública aonde um número considerável de pontos de Iluminação estão conectados sem interrupção por subestações ou transformadores. Nos casos aonde existe esta infraestrutura, a linha de transmissão pode ser usada como *backbone* da rede de conectividade para a Plataforma de Iluminação Pública. Em uma topologia de rede com PLC, se formam grupos de arredor de 200 luminárias gerenciadas por um controlador. A informação é depois enviada a um centro de controle via um protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Vantagens

- **Uso de infraestrutura existente** – Nos casos aonde já existe uma linha de transmissão de Iluminação Pública dedicada, a própria linha pode ser aproveitada para a conectividade da rede de Iluminação Pública, diminuindo o custo de aquisição e implantação.
- **Segurança** – Ao ser uma rede por fio, a segurança da mesma é muito menos complexa que quando se transmite dados por redes sem fio.

Inconvenientes

- **Disponibilidade de linha** – Nos casos aonde não existe uma linha dedicada, ou quando a mesma sofre interrupções frequentes por subestações ou transformadores, o custo de adequação da linha para uso como rede de transmissão de dados não compensa em geral as vantagens.
- **Controle por grupo** – Quando não é necessário o controle individualizado das luminárias a tecnologia tem um custo/benefício alto mais, si for necessária a instalação de controladores individualizados, os custos podem não compensar o uso.
- **Problemas com furtos** – em áreas ou cidades aonde existem problemas de furto de linhas de transmissão ou vandalismo, este problema leva à indisponibilidade quase constante da conectividade.

RF MESH (Radio Frequency Mesh)

RF Mesh conforma uma topologia de rede parecida a uma malha. Qualquer nodo que não estiver em alcance suficiente para se comunicar com a destinação alvo (gateway) enviará os dados através de outros nodos da rede (outra luminária) até chegar ao destino. Um pacote de dados poderá assim pular através de vários nodos intermédios, o que amplia consideravelmente o alcance total da rede além do alcance dos gateways.

Uma rede RF Mesh efectiva se auto-configura e auto-cura (*selfhealing*), determinando automaticamente quais nodos estão dentro do alcance de transmissão e se reconfigura si a topologia muda por exemplo, quando um nodo é removido ou adicionado à rede ou quando um obstáculo existe entre nodos que antes estavam se comunicando. Virtualmente todas as tecnologias de RF Mesh usam espectro não licenciado nas bandas ISM (*Industrial, Scientific, Medical*).

A determinação das características de desempenho de uma rede RF Mesh é relativamente difícil de antecipar devido ao número de abordagens e tecnologias diferentes que podem conformar este tipo de rede. Além disso, depende de vários fatores, e não só das especificações dos equipamentos, como a topologia (número de “pulos” que tem que ser dados pelos pacotes transmitidos antes de chegar ao gateway), o número de nodos visíveis a outros nodos, ou o número de nodos por gateway (concentradores).

Vantagens

- **Tecnologia provada** – A tecnologia vem sendo usada amplamente e tem vários casos de uso com sucesso para redes de Iluminação Pública.
- **Flexibilidade** – A capacidade deste tipo de redes para se auto-configurar e auto-curar, assim como a possibilidade de agregar mais nodos e concentradores para melhorar o desempenho outorga uma grande flexibilidade e adaptabilidade, especialmente para funções aonde os requerimentos de velocidade e volume não são muito altos (smart parking, controle da Iluminação, etc).

Inconvenientes

- **Espectro aberto** – Ao usar espectro nas bandas ISM (não licenciadas), podem chegar a existir problemas de interferência, mais ainda si o crescimento de dispositivos conectados é o esperado para o futuro. Também deve se adaptar a requerimentos regulatórios para o uso das bandas de espectro. Isto pode levar à necessidade de aumentar consideravelmente a densidade, e custo da rede, para poder oferecer um serviço robusto.

LTE CAT 1

LTE CAT 1 foi a primeira resposta das empresas de tecnologia celular para dar serviço as necessidades da indústria de M2M e IoT com tecnologia celular 4G (LTE). LTE CAT 1 está pensado para aplicações que precisem de alta confiabilidade e velocidades de transmissão relativamente altas.

LTE CAT 1 é usado comumente em comunicações de M2M como substituto a conectividade celular 2G/3G em casos nos quais o caso econômico está definido antes da implementação do serviço ou aplicação, já que os custos de aquisição dos módulos e a conectividade são relativamente altos.

As vantagens e inconvenientes da LTE CAT 1 são muito parecidas com as da LTE CAT M1, sendo que os casos de uso diferem em função das diferentes velocidades. Também, o custo de implantação e operação de conectividade LET CAT 1 é maior, pelo qual é muito importante avaliar o custo/benefício antes de se decidir pela implantação.

CARACTERISTICAS BASICAS DAS TECNOLOGIAS – Broad Band

Celular 3G/4G

As redes de comunicação celulares são ubíquas a nível global e oferecem conectividade provada, segura e com um ótimo desempenho. As operadoras de redes celulares vêm considerando a Iluminação Pública Inteligente e a indústria de conectividade para IoT em geral como mercados importantes e, conseqüentemente, adaptando a oferta existente de redes celulares aos requerimentos da gestão remota e inteligente da Iluminação Pública e uma plataforma de Cidade Inteligente.

Fora as especificações de conectividade celular já mencionadas (LET CAT M1, LTE CAT1, NB IoT), a integração de tecnologia celular “convencional” a uma plataforma de Iluminação Pública pode ser interessante para algumas aplicações que precisem de pouca latência e uma velocidade alta.

WIFI

Usando uma topologia de rede *mesh* Wi-Fi e as iterações da especificação desenvolvidas especificamente para redes LPWAN, podem oferecer conectividade em áreas extensas. A tecnologia Wi-Fi pode ser considerada outra opção dentro da conectividade RF Mesh, com a vantagem de que muitos dispositivos já estão conectados usando a tecnologia.

PARAMETROS BASICOS DAS TECNOLOGIAS

A continuação se detalha uma serie de parâmetros e características comuns a todas as tecnologias de conectividade e que definem o potencial de uso das mesmas para diferentes aplicações. O correto dimensionamento da rede e as tecnologias utilizadas definem a capacidade da mesma para suportar alguns ou todos os tipos de aplicações. Ao se realizar o dimensionamento da rede, tem que se ter em conta quais aplicações e soluções vão usar a mesma para que esta tenha a capacidade suficiente para lidar com as necessidades de trafego e capacidade que as aplicações vão impor. Finalmente, o correto dimensionamento da rede também supõe ter em conta o custo beneficio de usar tecnologias com maior capacidade mais também com maior custo tanto de aquisição como operacional ou implantar uma rede com menor capacidade que possa eliminar a possibilidade de algumas aplicações e soluções a usarem, mais com uns custos adaptados à capacidade financeira.

- **Banda de Frequência** – Se refere à frequência usada na rede sem fio. A tecnologia utilizada pode usar espectro licenciado ou não licenciado. No caso de não ser licenciado, normalmente será nas bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical; Industrial, Científica, e Médica em português). As bandas ISM no Brasil incluem as frequências de 902 MHz a 928 MHz, 2.400 MHz a 2.483,5 MHz e 5.725 MHz a 5.850 MHz.
- **Largura do Canal** – Este atributo é um fator na capacidade da rede disponível para uma aplicação dada e a escalabilidade da rede em geral. As tecnologias de conectividade usam diferentes metodologias para compartilhar a largura do canal entre os nodos e dispositivos finais. À hora de dimensionar a rede, as aplicações a serem implantadas e escolher as tecnologias de conectividade a serem utilizadas, é importante aprofundar nos métodos utilizados por cada uma das tecnologias.
- **Alcance** – Se refere a distância máxima operacional entre o gateway e o nodo final para poder transmitir dados de maneira eficiente. Os valores inclusos na tabela a seguir são teóricos –com algumas adaptações para as tecnologias com casos de uso provados- e devem ser testados dependendo das condições topológicas, de interferência, etc...existentes no local. Antes de se decidir por uma ou várias das tecnologias, deverão ser realizados

orçamentos de link (*link budgets*), entendidos como os cálculos para contabilizar todos os ganhos e perdas desde o transmissor até o receptor, incluindo o médio de transmissão.

- **Tamanho do Pacote** – Volume de dados que os nodos e dispositivos finais podem transmitir e receber em cada transmissão. Dependendo da tecnologia, estes valores mudam consideravelmente. Não existe uma solução “melhor” ou “pior” de maneira absoluta, sendo que dependerá muito da aplicação a idoneidade de cada uma.
- **Taxa da transmissão de dados Uplink/Downlink** – A velocidade à qual os nodos finais podem transmitir dados (uplink) influi no alcance, consumo de energia e os cálculos de orçamento de link. A velocidade à qual podem ser enviados os dados desde o Ponto de Acesso ou gateway até os nodos finais influem no tipo de segurança possível e na capacidade para atualizações remotas dos dispositivos, por exemplo.
- **Dispositivos por Ponto de Acesso** – Quantos nodos finais podem estar conectados a um Ponto de Acesso. Diferentes tecnologias têm diferentes especificações, desde um número ilimitado, só dependente da largura do canal, até números específicos de endereços individuais suportados. Quanto maior e mais frequente é a transmissão de dados entre os nodos finais e o Ponto de Acesso, menor será a quantidade de dispositivos por Ponto de Acesso, em geral. Os valores apresentados são os elencados nas especificações e deverão ser investigados com mais atenção à hora de dimensionar as aplicações e a rede mesma.
- **Topologia** – Se refere à topologia da rede usada pela tecnologia de conectividade em questão. Existem várias topologias diferentes, sendo as mais comuns a topologia em estrela (*star*) e a topologia *mesh* (explicada anteriormente). Porém, estas podem ser modificadas para incluir uma topologia em árvore (*tree*), pela qual os Pontos de Acesso primeiro se comunicam com um concentrador, e este último serve de acesso à Internet, em vez de cada Ponto de Acesso estar conectado à Internet diretamente.
- **Roaming do nodo final** – Todas as tecnologias permitem a realocação de nodos finais desde um Ponto de Acesso a outro. A velocidade à qual está transferência pode ocorrer variará em função da tecnologia escolhida e as características da rede. A atualização da realocação dos nodos desde um ponto da rede (e ponto de acesso) a outro pode ocorrer automaticamente (como o roaming oferecido por redes celulares), uma vez é realizada uma atualização periódica, ou através de um comando direto de atualização. Dependendo do grau de roaming desejado para cada aplicação a ser introduzida, deverão ser tidas em contas as

características operacionais de cada tecnologia de rede e a sua compatibilidade com os resultados esperados.

- **Padrão** – Muitas das tecnologias de conectividade para redes são desenvolvidas por organizações da indústria com padrões abertos. O uso de padrões abertos permite a parceiros alheios à organização que desenvolve o padrão, o desenvolvimento de equipamentos e soluções baseados nos padrões. Isto permite a criação de um ecossistema de fabricantes de equipamentos e serviços associados. Porém, dependendo do padrão escolhido, pode existir a necessidade de pagamento de royalties, licenciamentos ou taxas de adesão à própria organização com o objetivo de certificar o cumprimento com os padrões. O padrão também define, em geral, a camada física de comunicação do modelo OSI.
- **Espectro Licenciado** – As tecnologias levantadas usam frequências de transmissão diferentes que podem ser ou bem no espectro licenciado ou bem no espectro não licenciado. A maioria das tecnologias que usam espectro não licenciado se agrupam nas bandas ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), existindo alguns casos de tecnologias que estão optando por usar o espectro normalmente associado à Televisão. Já as tecnologias que usam espectro licenciado são normalmente desenvolvidas pelo Grupo 3GPPP que agrupa a maioria das operadoras de Telecom e fabricantes de equipamentos associados. O uso de espectro não licenciado ou licenciado influi no custo de transmissão dos dados entre os nodos finais e os Pontos de Acesso. Além da variável de custo, o espectro licenciado tende a ter melhor segurança, menos interferência e menor latência.

Tecnologia	Banda de Frequencia	Largura de Canal	Alcance por Gateway (Teorico, meio urbano)	Taxa de Transmissao de Dados (Uplink)	Taxa de Transmissao de Dados (Downlink)	Numero de Dispositivos por Ponto de acesso	Tamanho por pacote	Topologia de Rede	Roaming do Nodo Final Permitido	Espectro Licenciado?	Padrao	
Narrowband (LPWAN)	SigFox	920 MHz ISM	Ultra Narrow Band (200 Hz)	<10 km	100 bps; 140 mensagens/dia	100 bps; 8 mensagens/dia	≈1.000.000	12 bits uplink/8 bits downlink	Star	Sim	Nao	SigFox
	LoRa	920 MHz ISM	50-125 KHz	2-5 km	300 bps - 50 Kbps	300 bps - 50 Kbps	1.000.000 uplink/100.000 dowlink	Definido por Usuario	Star of Stars	Sim	Nao	LoRa Alliance
	NB-IoT	Celular	180 KHz	Rede Celular	20 Kbps	20 Kbps	cobertura celular	varia	Rede Celular	Sim	Sim	3GPP Release 13
	RPMA	2.400 MHz ISM	Até 40 canais de 1 MHz	>20 km	até 624 Kbps por Gateway em total	até 156 Kbps por Gateway em total	384.000	6 bytes-10 kbytes	Star	Sim	Nao	Ingenu
	LTE-Cat-M1	Celular	1,08 MHz	Rede Celular	200 Kbps-1 Mbps	200 Kbps-1 Mbps	cobertura celular	100-1000 bytes (tipicamente)	Rede Celular	Sim	Sim	3GPP Release 13
MediumBand	Low Power WiFi	920 MHz ISM	1/2/4/8/16 MHz	≈ 500 m	150 Kbps - 346 Mbps	150 Kbps - 346 Mbps	Escalavel	até 65.535 Bytes (com agregacao)	Mesh	Sim	Nao	IEE 802.11 ah
	RF Mesh	Bandas ISM	Varia conforme especificacao	Varia conforme dimensionamento	100 kbps - 30 Mbps	100 kbps - 30 Mbps	escalavel	varia	Mesh	Sim	Nao	Varia
	PLC	Transmissao por fio	3-500 KHz	Varios km com (repetidores)	100 kbps - 600 kbps	100 kbps - 600 kbps	varia	até 8 bytes	Hibrida/Mesh	Depende	Nao	IEC 61334; ANSI/EIA 709.1
Broad Band	LTE-Cat-1	Celular	1,4-20 MHz	Rede Celular	≈10 Mbps	≈10 Mbps	cobertura celular	varia	Rede Celular	Sim	Sim	3GPP Release 8
	3G/4G Celular	Celular	1,4/3/5/10/15/20 MHz	Rede Celular	7 Mbps-100Mbps	7 Mbps-100Mbps	cobertura celular	varia	Rede Celular	Sim	Sim	3GPP
	Wi-Fi	2.400/5.000 MHz ISM	20/40 MHz	≈100 m por nodo	150 Kbps - 350 Mbps	150 Kbps - 350 Mbps	Escalavel	até 2320 bits	Mesh	Sim	Nao	IEEE 802.11
Pt2Mpt	> 1000 MHz	Varia	Varia	> 50 Mbps	> 50 Mbps	Varia	varia	Ponto a Multi-Ponto	Depende	Varia	Varia	

