

UM ESTUDO DISSERTATIVO-EXPOSITIVO SOBRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO SEM FIO NFC, LORA E 5G NO CONTEXTO DE IOT

João Paulo de Sousa, Paulo Henrique Lopes Silva

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo servir como uma revisão de literatura inicial e abrangente acerca de protocolos de comunicações já evidenciados na indústria e que possuem um potencial enorme para retirar o gargalo na comunicação de dados da Internet das Coisas, que necessita de uma baixa latência, alta velocidade e efetividade, para que seres humanos, máquinas, animais e meio ambiente sejam monitorados a todo momento gerando dados sem necessidade de intervenção humana, populando banco de dados de forma autônoma e com a menor quantidade de erros possível. Sendo assim, o presente trabalho focou-se em 3 grandes protocolos de comunicações que podem ser utilizados em várias aplicações de *IoT*, sendo eles o NFC, LoRaWAN[®] e a rede Celular 5G, além de apresentar possíveis aplicações para cada um desses protocolos, onde os mesmos podem se encaixar com mais facilidade, sendo o NFC para aplicações mais curtas como controle de acesso e sistemas de pagamentos, o LoRaWAN[®] para aplicações de média distância como em *smart cities*, e o Celular 5G para aplicações globais, desde áreas remotas à grandes centros urbanos.

Palavras-chave: *Internet das Coisas, IoT, LoRaWAN, 5G, NFC, smart cities.*

1 INTRODUÇÃO

A internet das coisas, ou *IoT*, do inglês *Internet of Things*, foi um termo criado por Kevin Ashton em 1999 e, cuja explicação só foi dada 10 anos mais tarde em um artigo para *RFID Journal*, chamada “That ‘Internet of Things’ Thing”, ou “A coisa da Internet das Coisas”. Ashton defende que as coisas são muito mais importantes do que ideias ou informações, pois, afinal, nós como seres humanos somos físicos assim como o meio em que vivemos e as coisas que nos rodeiam como a economia, sociedade [1]. Portanto, Ashton defendeu que se a rede de computadores soubesse de tudo que dá para saber de coisas sem necessitar da nossa ajuda para coletar esses dados de aprendizado, nós seríamos capazes de rastrear, contar tudo, saber quando algo necessita ser repostado, ser reparado e tudo isso faria com que os desperdícios fossem menores e tornaria algumas coisas mais eficientes.

Eficiência é um ponto chave da Internet das Coisas, pois computadores são mais eficientes que nós, humanos, principalmente em tarefas repetitivas, padronizadas e que podem exigir cálculos matemáticos e os avanços tecnológicos criaram uma demanda pra monitoramento constante das nossas vidas, pois assim teremos sempre a maneira mais eficiente e rápida para realizar as tarefas do nosso dia-a-dia. Por exemplo, hoje podemos fazer com que as luzes da nossa casa se iluminem quando detectar que está a noite ou quando detectar que estamos chegando do trabalho por meio do GPS no nosso celular ou do nosso relógio inteligente, bem como geladeiras inteligentes entendem quando fazemos compras e a enchemos de alimentos e com isso a geladeira deve diminuir ainda mais a temperatura para manter o acondicionamento adequado dos alimentos e essas coisas nos poupam tempo e diminui nossos gastos. Todas essas possibilidades listadas são viabilizadas apenas porque o uso de computadores consegue melhorar a eficiência, economia e toma essas decisões por nós.

As tecnologias em que se baseia a Internet das Coisas é a aquisição rápida de dados sem a necessidade de um ser humano para digitar esses dados, a comunicação entre pessoas e pessoas, entre pessoas e objetos e por fim até mesmo entre objetos com objetos. A Internet das Coisas corresponde à fase atual da internet em que os objetos estão ligados a objetos humanos e animais que se tornam objetos portadores de dispositivos computacionais capazes de se conectar e se comunicar. Nesse sentido, os objetos tendem a assumir o controle de uma série de ações cotidianas sem que o ser humano precise estar alerta e responsável [2]. No entanto, para que haja essa interação é necessário que exista algum tipo de conexão entre os mais variados pontos, sejam eles pessoas, objetos ou animais.

Dessa forma, a Internet das Coisas esbarra em um problema fundamental e que é uma das principais barreiras para conseguirmos a integração das coisas com a rede de computadores que é a comunicação. O estopim, a grande explosão da Internet das Coisas veio junto com os métodos *wireless* (do inglês “sem fio”), que temos comumente hoje em nossas casas, como o Bluetooth[®] e o Wi-Fi, que, como o próprio nome já diz, são comunicações em que não há necessidade de nenhum fio, entretanto, essas tecnologias amplamente difundidas

têm suas limitações que impossibilitam sua utilização em todos os espaços, como por exemplo o Bluetooth, que mesmo na sua versão 5.0 possui apenas 15 m de alcance máximo para comunicação, ou o Wi-Fi, disponíveis nas frequências 2.4GHz ou 5GHz, tem velocidade limitada a 200mbps e 1Gbps, respectivamente.

Portanto, é necessário que se olhe para novos horizontes, para entendermos quais tecnologias de comunicações serão mais utilizadas no futuro para que haja a integralização das coisas com a rede de computadores, protocolos de comunicação que não são ainda tão difundidos quanto Bluetooth® e Wi-Fi, mas que têm potencial para que alcancem e até perpassem esses métodos *wireless* de comunicação, que possuam menor custo, maior facilidade de implementação e menos limitações com relação a velocidade e ao alcance que as tecnologias mais difundidas. No presente trabalho serão debatidos 3 (três) protocolos de comunicação que estão sendo utilizados hoje em dia, mas que tem o potencial de transformar a internet das coisas, sendo eles o LoRaWAN®, Celular (5G) e NFC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A troca de informações é inerente e de fundamental importância para qualquer civilização. A biologia descobriu que insetos, por exemplo, trocam informações como localização excretando feromônios. Com a humanidade não é diferente, a troca de informações é uma realidade e está em franca expansão.

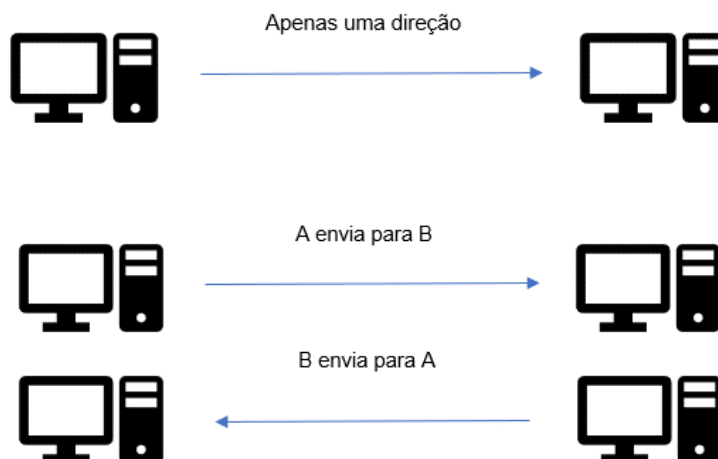
Todo e qualquer sistema de comunicação se baseia na troca de informações onde se envia uma mensagem com o intuito de ser recebida e sobretudo entendida por um ou mais receptores e é através de um canal de comunicação que essa mensagem é propagada. Fazendo uma analogia ao tráfego viário o canal de comunicação é o análogo as estradas onde os veículos trafegam. Basicamente existem dois tipos de canais de comunicação com cada um tendo suas características: Canal com meio físico onde a informação é transmitida ou propagada por algum condutor, exemplo um cabo coaxial, ou um canal sem fio, exemplo uma conexão estabelecida por Bluetooth®.

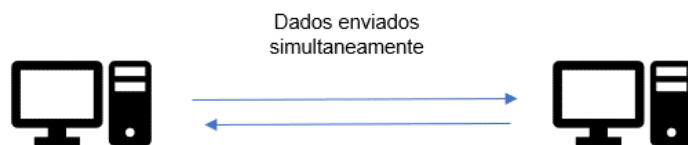
Este estudo é concentrado nas tecnologias de comunicação que usam canais sem fio e se baseiam nas seguintes características para que a informação enviada chegue ao destino e seja compreendida.

2.1 Características dos Protocolos de Comunicação

Existem três métodos de comunicação sem fio: Simplex, Half-duplex e Full-duplex. A comunicação simplex é unidirecional (ou seja, a comunicação ocorre em apenas uma direção. A comunicação Half-duplex é bidirecional, no entanto, eles não podem fazê-lo ao mesmo tempo (ou seja, não podem enviar e receber informações ao mesmo tempo). O full-duplex também é semelhante ao Half-duplex, mas trabalhando juntos (ou seja, os dados podem ser enviados e recebidos ao mesmo tempo) [3]. Nas Figuras 1 a), b) e c), podemos entender melhor como funcionam essas comunicações.

Figura 1: a) Simplex, b) Half-Duplex, c) Full-Duplex.





Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 1 representa os diferentes métodos de comunicação (simplex, half-duplex e full-duplex) que podem ser usados em meios guiados ou não guiados.

2.2 Topologia de Redes

A topologia de uma rede representa como os dispositivos nela presentes são arranjados ou conectados. Das várias topologias existentes nas redes de computadores, três são as mais comuns: ponto a ponto, ponto a multiponto e malha [4].

Em uma topologia ponto a ponto, *links* de rádio são usados em vez de comunicação via cabo serial. Como exemplo, uma rede com esta topologia pode ser utilizada para interligar CLPs (controlador lógico programável) para uma estação de monitoramento remoto, como presente na Figura 2, e a comunicação entre dispositivos ocorre de forma confiável sem problemas interferência e perda de roteamento, desde que os dois nós finais estejam próximos o suficiente um do outro [4].

Figura 2: Topologia Ponto-a-Ponto.

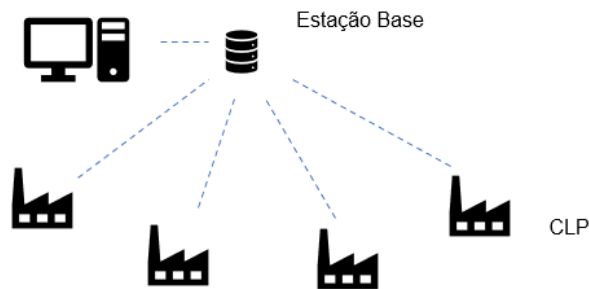


Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 2 representa uma topologia de rede ponto-a-ponto que pode ser exemplificado como uma configuração típica de mestre-operário.

Na topologia ponto-a-multiponto, a rede possui uma topologia em estrela. Neste caso, uma estação base ou ponto de acesso controla a comunicação com todos os outros nós finais sem fio, como na Figura 3. A confiabilidade do *link* depende da qualidade do canal de RF (rádio frequência) entre o ponto de acesso central (estação base) e cada nó final. Em um ambiente industrial, geralmente pode ser difícil determinar a localização ideal para um ponto de acesso para fornecer um canal de comunicação confiável com cada nó final. A comunicação com um nó final pode degradar a comunicação com outros nós finais na rede.

Figura 3: Ponto-multiponto.

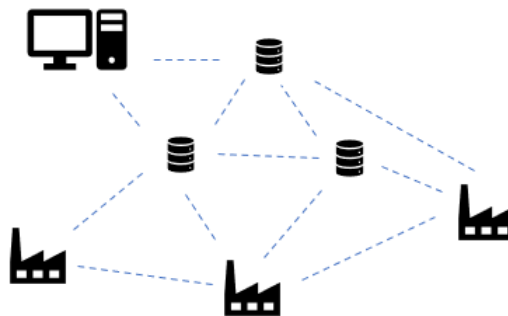


Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 3 representa a topologia de ponto-multiponto, como exemplo típico temos a rede de televisão tradicional onde a emissora de TV transmite o sinal pra vários receptores/telespectadores.

Por fim, temos a topologia *Mesh* (do inglês, “malha”), que além de enviar e receber mensagens, os nós da rede também podem atuar como roteadores, encaminhando mensagens para seus vizinhos, vide Figura 4. Desta forma, um pacote pode passar por vários nós intermediários (com conexões confiáveis) até chegar ao destino.

Figura 4: *Mesh*.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 4 representa a topologia em malha onde temos um elemento central (nó) que pode atuar como repetidor do sinal.

2.3 NFC (*Near Field Communication*)

Quando se fala em NFC, logo pensamos em cartões de crédito que utilizam a aproximação para a realização de pagamentos. Sim, este é um – dos vários tipos – de utilização da comunicação por campo próximo (NFC), cuja descoberta aconteceu há mais de duas décadas, mas que só houve aplicação prática quando se tinha a necessidade de uma comunicação próxima entre aparelhos, pois já existia o Bluetooth® para a comunicação, que já possuía uma tecnologia bastante avançada e confiável de comunicação, portanto, qual seria a aplicação para um protocolo de comunicação que necessitava de uma aproximação quase que perdendo o perfil de uma comunicação sem fio? A resposta veio quando se houve a necessidade de uma comunicação com mais segurança, uma que, ao contrário do Bluetooth®, não pudesse ser acessada por qualquer usuário a média distâncias, mas sim, a curtíssimas distâncias quando o operador estivesse atento ao processo de comunicação, além de necessitar ser uma comunicação que permita a rápida identificação [5].

No entanto, para a Internet das Coisas, podemos expandir as aplicações do protocolo de comunicação NFC, já que nesse contexto estamos interessados na aquisição de dados de forma rápida e sem a necessidade de *inputs*, algo que o NFC por si só é capaz de fazer, pois é uma tecnologia de comunicação extremamente veloz e que

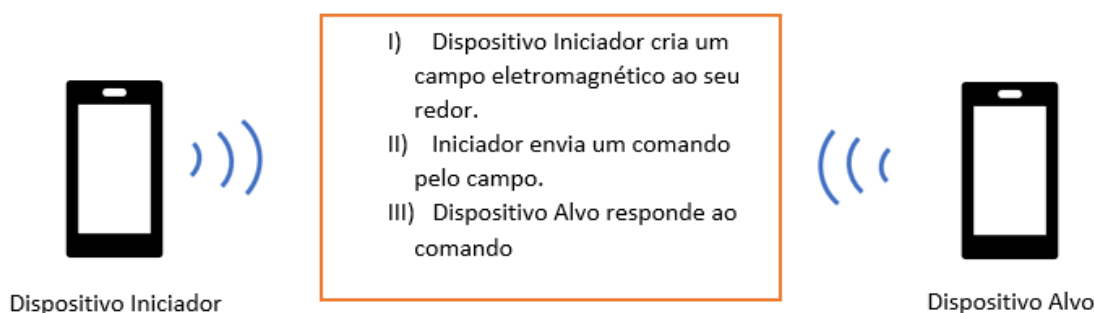
ocorre sem a necessidade de algum tipo de senha ou ritual realizado pelo usuário e, talvez, a mais importante das características do NFC é que os *tokens* não necessariamente necessitam de conexão nem de energia, por exemplo, os cartões de crédito, eles não estão conectados a nenhuma rede Wi-Fi ou a uma tomada, quando são utilizados para pagamentos, eles são apenas pedaços de plástico com chips.

Entendendo melhor como funciona o NFC, podemos destacar algumas de suas características, como os principais componentes dessa comunicação, que são chamados de iniciador, que produz um campo magnético de 13,56 MHz, que alimenta o segundo componente, o alvo. Essa baixa frequência de comunicação faz com que a quantidade máxima de dados seja na ordem de 400 kbits por segundo [5], o que faz com que o NFC não possa ser utilizado para troca de grande quantidade de dados, já que para uma quantidade alta de dados seria necessário uma grande quantidade de tempo. Outra característica do NFC, é que ele pode ser utilizado em 3 modos de operação:

- a) Modo Leitor/Gravador: permite programar (ler/escrever) dados para NFC tags.
- b) Modo de Emulação de Cartão: Nesse modo pode ser emulado um cartão com dados, que faz com que o iniciador leia os dados que estão no dispositivo habilitado para NFC.
- c) Modo *Peer-to-Peer*: faz com que dois dispositivos NFC possam trocar dados simultaneamente (full-duplex) na velocidade máxima de 424 kbit/s [5].

Um esquema ilustrativo de como funciona o NFC e as suas partes estão na Figura 5.

Figura 5: Funcionamento do NFC.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 5 ilustra o funcionamento básico de como se dá a comunicação na tecnologia NFC.

2.3.1 Aplicações dos Modos do NFC

Uma outra aplicação seria no âmbito da medicina, pois, como temos os *wearables*, componentes eletrônicos vestíveis, que detectam frequência cardíaca, nível de oxigenação no sangue, até mesmo pressão arterial, seria possível que em uma emergência, na chegada de uma ambulância, o socorrista tivesse acesso a esses dados ao aproximar um smartphone próprio de uma pulseira ou relógio inteligente utilizado pela vítima de alguma intercorrência média, fazendo com que seja possível de imediato detectar quais possíveis causas para emergências e qual o procedimento deve ser usado para salvar a vida [6, 7].

O benefício mais importante para essa emulação seria a capacidade de um usuário substituir um ou vários objetos físicos, como por exemplo, cartões de crédito, chaves de casa, chave do carro. Por exemplo, ao chegar em um hotel, não necessitar de chaves para entrar no seu quarto, apenas de um SMS enviado para seu smartphone e da mesma forma fazer check-out ao aproximar seu smartphone de um dispositivo iniciador que também faça a cobrança da sua estadia. Também existem aplicações para contagem de frequência de alunos de uma escola, ou de colaboradores no trabalho, utilizando mecanismos de autenticação (como um crachá) [8].

Como já discutido, esse é um modo de comunicação de dados full-duplex, em que ambos os pontos se comunicam simultaneamente, de forma rápida e prática, aplicações como essas podem ser vistas com pessoas trocando cartões de visitas, ou como em [9], aplicações onde os celulares e computadores pessoais se comunicam para colherem dados um do outro.

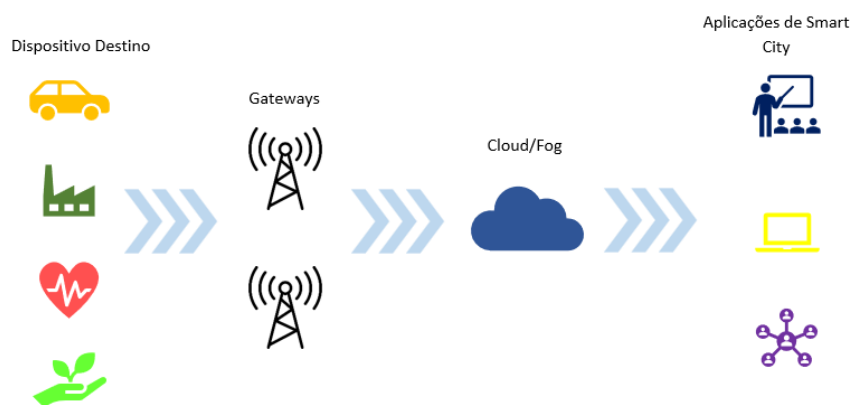
2.4 LoraWan ®

A LoRa é uma LPWAN (explicada mais à frente) que já foi implementada em mais de 34 países, com um investimento aproximado de 241 bilhões de dólares, desenvolvida pela Cycleo e lançada em 2012 como sendo uma tecnologia não licenciada. Algumas das características da Rede LoRa está a seguir:

- a) LoRa apresenta robustez contra multi-percurso, multi-percurso é a divisão do sinal enviado em um meio não cabeado causado pela colisão do sinal com meios físicos como prédios e árvores e nessa colisão gera ondas harmônicas com o sinal enviado inicialmente e com isso causa perda de potência do sinal original. Efeito Doppler, o efeito doppler é a variação do comprimento de onda ou frequência causado pelo movimento entre a fonte emissora e o receptor ou o movimento do receptor em relação a fonte emissora ;
- b) LoRa também usa uma modulação proprietária de espectro alargado de chirp (CSS) para distâncias de arquivo superiores a 700 km, e a modulação do CSS proporciona robustez contra interferências e uma relação sinal/ruído muito baixa (SNR) que permite ao receptor demodular o sinal;
- c) LoRa é adequado para aplicações que requerem uma vida útil muito longa da bateria e tem uma instalação reduzida custo;
- d) LoRa permite afinar várias propriedades de transmissão física, tais como largura de banda (BW), frequência central, taxa de codificação (CR), factor de difusão (SF) e potência de transmissão [10];
- e) LoRa utiliza uma arquitectura de início de longo alcance na qual são utilizadas gateways para retransmitir mensagens entre as extremidades nós;
- f) LoRa utiliza um algoritmo de taxa de dados adaptativa (ADR) para estimar os parâmetros CR e SF sob um canal específico.

No Brasil, o LoRa é usado na faixa de 915 MHz, incluindo 902 MHz a 907,5 MHz e 915 MHz a 928 MHz. Em 2018, a ANATEL emitiu o Ato nº 6.506, que aprovou o procedimento para avaliação da conformidade de equipamentos de radiocomunicação de radiação limitada, permitindo que equipamentos LoRa operem em território nacional [11]. A Figura 6 a seguir exemplifica e facilita a compreensão da arquitetura da Rede LoRa.

Figura 6: Arquitetura genérica de uma Rede LoRa.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A figura 6 ilustra a arquitetura genérica do funcionamento da rede LoRa onde os *gateways* são os elementos responsáveis pelos diversos enlaces e sendo responsáveis pela adequação dos protocolos LoRa com os protocolos TCP/IP usados na computação em nuvem.

2.4.1 LPWAN

LPWAN é um grupo de tecnologias que permitem comunicações de longo alcance com baixo consumo de energia, longa duração da bateria, longo alcance, taxas de transmissão aceitáveis, boas características de penetração que é a propriedade do sinal sem fio adentrar nos ambientes ou materiais e custo de instalação reduzido [12]. Como exemplos desse grupo de tecnologias temos o LoRaWan, SigFox e Wi-Sun.

2.4.2 Aplicações da Rede LoRa para IoT

A principal aplicação visada no futuro para a Rede LoRa é para introduzi-la no conceito de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), na qual o fundamento é o desenvolvimento sustentável com as pessoas como eixo central. Esse conceito de Cidade Inteligente tem 6 pilares: governança, economia, vivência, meio-ambiente, pessoas e mobilidade [13].

Para cada um desses pilares, podemos exemplificar várias outras subcategorias, como por exemplo, para a mobilidade, podemos ter indicadores de locais para estacionamento, localização do transporte público em tempo real, localização de áreas com acessibilidade, para o meio ambiente temos o gerenciamento do lixo e de desperdício, níveis de poluição do ar em determinadas áreas, gerenciamento de recursos como a água e energia, além das outras categorias. Um volume de informações de alta intensidade como estes, em um raio de 15 ou 20 km de distância, com sensoriamento e alguns atuadores, necessita de uma rede de comunicação adequada que tenha um grande range de distância, mas que possua um baixo consumo de energia, tendo em vista que a maioria dos equipamentos de IoT são movidos à bateria, dessa forma, a LoRa entra como um *player* importante para implementação dessas Cidades Inteligentes, como podemos ver em exemplos a seguir retirados do trabalho “*A Comprehensive Study of the Use of LoRa in the Development of Smart Cities*” [14].

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO), o setor agrícola enfrenta enormes desafios devido à necessidade de produzir alimentos para uma população mundial que chegará a 9,6 bilhões em 2050. Para isso será muito útil o controle automatizado e contínuo de pragas e doenças bem como a determinação de parâmetros ótimos nos domínios climático e geográfico.

As soluções de IoT usando drones em combinação com mapeamento 3D permitem a coleta de informações sobre a geografia do campo e a composição do solo para planejar o processo de plantio. Drones que monitoram colheitas e condições agrícolas em tempo real podem ajudar a capturar dados de áreas perigosas. A irrigação inteligente é outra aplicação relacionada na agricultura que permite o uso eficiente da água no momento certo e na quantidade certa. Um dispositivo usado como gateway na arquitetura IoT pode enviar comandos aos nós (dispositivos) de irrigação para ativar ou desativar válvulas solenóides para iniciar ou parar a irrigação [14]. Para a silvicultura, é importante encontrar formas de monitorar automaticamente parâmetros como temperatura, ruído, radiação solar, pressão, solo, umidade, etc.

As aplicações de IoT relacionadas ao controle de tráfego ou transporte concentram-se principalmente em sistemas de estacionamento, tráfego, iluminação pública, monitoramento de congestionamento e transporte público em tempo real.

Em geral, o trânsito nos centros urbanos é uma questão importante não só porque aumenta o tempo de deslocamento dos cidadãos, sobretudo também porque reduz o Produto Interno Bruto (PIB), pois reduz a jornada de trabalho e, conseqüentemente, o tempo de produção das pessoas [15]. As lâmpadas LED consomem aproximadamente 0,49 mWH por lâmpada LED, mas o uso de IoT permite o desenvolvimento de controles automáticos de escurecimento que aumentam a eficiência energética desses sistemas de iluminação em mais de 85% [16]. Com base nos dados registrados nas interseções de tráfego, um modelo de congestionamento pode ser projetado para calcular a operação horária dos semáforos em diferentes faixas.

Alternativas às tecnologias de detecção, como RFID, sensores ultrassônicos ou processamento de imagem de vídeo, exigem muita sobrecarga de instalação e manutenção, enquanto soluções que envolvem a detecção de sinais refletidos de veículos, como radar de micro-ondas ou sensores ultrassônicos, aumentam o consumo de energia, dizem alguns pesquisadores. É altamente suscetível a interferências do ambiente. A informação de ônibus é considerada um aspecto relacionado ao domínio de transporte, pois fornece aos cidadãos dados sobre quando os ônibus chegam aos pontos de ônibus. Outras soluções que podem ser introduzidas usando LoRa são a poluição do ar e o monitoramento das condições das estradas.

Em comparação com um modelo de tráfego desenvolvido para ônibus, onde alguns padrões de movimento são esperados, as redes de bicicletas são mais difíceis de prever e mais complexas de definir porque cada usuário se moverá de maneira diferente. A integração de informações meteorológicas pode agregar novos serviços para o usuário, informando se as condições meteorológicas são adequadas para o ciclismo.

A precisão no faturamento elétrico é altamente necessária, especialmente com o uso generalizado de aparelhos para “*smart-home*” na vida cotidiana. O desenvolvimento da leitura automática de medidores evita a necessidade de uma pessoa para visitar um local físico para a leitura do medidor e reduz a possibilidade de ler os dados erroneamente. Para melhorar o faturamento elétrico, uma comunicação bidirecional entre usuários e fornecedores poderia ser implementada. No caso das usinas fotovoltaicas são altamente dependentes da irradiação solar, da temperatura ambiente e das condições atmosféricas, as soluções de IOT poderiam permitir o monitoramento destes parâmetros em tempo real.

A poluição do ar é um produto das atividades humanas cotidianas, como o uso de veículos e eletrodomésticos em ambientes residenciais e industriais. Essas atividades produzem grandes quantidades de monóxido de carbono que afetam a qualidade do ar. Se a poluição não for controlada, pode causar câncer, doenças respiratórias e doenças cardiovasculares [17]. A Organização Mundial da Saúde determinou limites toleráveis de nível de poluição e definiu o conceito de “poluição do ar” [18], que se refere a poluentes do ar, como combustível, carbono, bactérias e outras partículas microscópicas presentes na atmosfera, como ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e dois tipos de material particulado fino (PM₁₀, PM_{2,5}) são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública [17].

O uso de soluções IoT em ambiente assistido (AAL) permite o design de objetos inteligentes com funcionalidade para detectar o ambiente e executar ações específicas para o usuário. Sensores de IoT instalados em ambientes urbanos também podem detectar concentrações de poluição em tempo real. As informações coletadas por meio das soluções acima, combinadas com algoritmos de aprendizado de máquina e análise de dados, podem identificar e emitir alertas quando ocorre poluição atmosférica severa.

2.5 Celular 5G

A 5ª Geração de sistemas celulares, que sucede os famosos 3G e 4G, apresenta melhorias gigantescas com relação aos seus antecessores, além de trazer inovações. A principal melhoria é a entrega de velocidades na ordem de 1 Gbit/s, enquanto o 4G entregava no máximo 100 Mbit/s, além disso podemos citar melhorias na latência e, talvez o que mais importe para a Internet das Coisas, a capacidade de conexão com múltiplos dispositivos enquanto apresenta algumas desvantagens como o custo elevado dos planos de dados e um número elevado de antenas se comparado a tecnologia de rede 4G. Cada um desses tópicos serão discutidos a seguir.

2.5.1 Taxa de Velocidade e Capacidade

Utilizando banda de frequência milimétricas e M-MIMO (*Massive – Multiple Input Multiple Output*), junto com o uso de *beamforming*, a rede 5G é capaz de um tráfego por área para *downlinks* de aproximadamente 10 Mbit/s/m².

2.5.2 Latência

Com tecnologias do tipo D2D (*Devite-to-Device*), presente no 5G, é possível alcançar latências de até 1 ms, o que é 10 vezes mais rápido do que a melhor tecnologia 4G pode oferecer (10 ms). Este é um ganho significativo de performance, e um dos pontos chaves para a IoT.

2.5.3 Capacidade de Conexão com Dispositivos IoT

Esta talvez seja a mais importante das melhorias feitas do 4G para o 5G, pois, devido à maior largura de banda que é oferecida nessa tecnologia por conta das já citadas ondas milimétricas e pelo uso de células pequenas, é possível que a tecnologia 5G seja capaz de atender a uma altíssima densidade de dispositivos [19], de aproximadamente 1.000.000 de dispositivos conectados/km². Sendo assim, a crescente demanda por dispositivos IoT, como *wearables*, eletrodomésticos inteligentes, Smartphones, PC, etc. poderá ser suprida por tal tecnologia até mesmo em grandes centros urbanos.

2.5.4 Aplicações do 5G na Internet das Coisas

Com o advento da tecnologia 5G se abre um vasto campo de possibilidades de aplicações que envolvem tal tecnologia a exemplos como realidade virtual e outras aplicações envolvendo *smart cities*.

2.5.4.1 Realidade Virtual

Quando pensamos em realidade virtual ou realidade aumentada, pensamos logo nas aplicações para jogos, no entanto, existe um universo a mais a ser explorado nesse contexto, principalmente no âmbito da medicina. Consultas, exames, ou até mesmo cirurgias, poderiam ser realizadas em um ambiente de realidade virtual, tendo em vista que nesse modelo o corpo do ser humano poderia ser um receptor e emissor de dados, e com a resposta de 1ms de latência, proporcionado pelo 5G, é possível que a reação a um determinado procedimento médico seja praticamente o mesmo que experimentado pessoalmente. Tudo isso depende de uma grande quantidade de dados sendo enviados e recebidos ao mesmo tempo, a uma latência baixíssima e em super velocidades. Sendo assim, o 5G poderá suprir essas necessidades, a prova disso são os investimentos altíssimos em empresas como Facebook e Amazon para criar ambientes de realidade virtual, como o Metaverso ®.

3 CONCLUSÕES

A Internet das Coisas já é uma realidade há muito tempo, desde 1999 quando Ashton propôs o termo, mas nos últimos anos foi que houve um grande desenvolvimento da ideia, devido às tecnologias de comunicação sem fio. Hoje podemos evidenciar um novo patamar desse conceito de IoT, justamente pelos mesmos motivos, que é a comunicação sem fio, mas, dessa vez, de forma aprimorada com velocidades maiores, com um tempo de resposta ínfimo, além de outras melhorias quando comparadas com conexões *wireless* mais antigas como Bluetooth®, Wi-Fi e 3G/4G/LTE, que são exemplificadas pelos protocolos de comunicação neste trabalho, como o NFC, LoRaWAN e 5G.

Para aplicações serem desenvolvidas é necessário primeiro entender dos conceitos básicos de telecomunicações e destes protocolos novos, menos usuais, mas que possuem um grande potencial para as aplicações de IoT que virão a ser parte da rotina de toda a sociedade. Sendo assim, são essenciais trabalhos de pesquisa que componham e sintetizem as informações provenientes de vários outros trabalhos que discorrem sobre esses protocolos de comunicação, para que sirvam de bases de pesquisas para estudantes, pesquisadores e desenvolvedores iniciarem seus projetos de aplicações de IoT, por isso a existência desse trabalho e sua importância.

Portanto, o presente trabalho propôs, de forma sucinta, aplicações para três tipos de comunicações *wireless* ligadas à Internet das Coisas, aplicações essas que já estão em uso em outras modalidades, mas que possuem um potencial gigantesco para empresas e pesquisadores explorarem. O trabalho também demonstrou conceitos básicos sobre telecomunicações e como elas funcionam, para servir de introdução a quem está buscando conhecimentos acerca dos protocolos de comunicação para iniciar um trabalho ou pesquisa na área de IoT. As aplicações estão dadas, as limitações para as mesmas também já estão expostas, bem como possíveis soluções através dos métodos de comunicações apresentados neste trabalho, sendo assim, podemos presenciar em um futuro próximo todas as aplicações apresentadas aqui se tornarem realidades em *smart cities*, no tráfego de grandes cidades, melhorias na medicina, avanço na agricultura sobretudo para o combate à fome, eficiência energética, entre outras aplicações que serão criadas e melhoradas no futuro.

4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Outros protocolos de comunicação também podem representar e protagonizar uma nova era para a Internet das Coisas e todos esses merecem estudos aprofundados acerca de suas aplicações, possibilidades e limitações, para que possam, junto com este trabalho, apresentar os conceitos iniciais das mesmas. Dentre os possíveis protocolos de comunicações, citei ZigBee, que, assim como a LoRa, possui um grande alcance e baixo consumo de energia, e que possui uma topologia *Mesh*, também citei a 6LoWPAN (*Low-power Wireless Personal Area Network*), baseada em IP, mas que também possui um baixo consumo de energia e também define mecanismos de encapsulamento e compressão de dados, e por último, o Sigfox, um provedor de rede privada, semelhante ao protocolo celular, que possui um longo alcance, raio de 50km, bastante utilizada nos dias atuais para sensoriamento.

5 REFERÊNCIAS

- [1] ASHTON, Kevin. **That 'Internet of Things' Thing**: in the real world, things matter more than ideas.. In the real world, things matter more than ideas.. 2009. Disponível em: <http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [2] SANTAELLA, L.; GALA, A.; POLICARPO, C.; GAZONI, R. Desvelando a Internet das Coisas. **Revista GEMInIS**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 19–32, 2013. Disponível em: <https://www.revistageminis.ufscar.br/index.php/geminis/article/view/141>. Acesso em: 4 dez. 2022.
- [3] Ajay, P.; Nagaraj, B.; Ruihang, H. **Deep Learning Techniques for Peer-to-Peer Physical Systems Based on Communication Networks**. 22. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/journals/jcse/2022/8013640.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [4] HODGES, Robert Poor And Brent. **Reliable Wireless Networks for Industrial Systems**: mesh network topology developed at MIT's media lab exhibits superior reliability over traditional wireless systems. Mesh Network Topology Developed at MIT's Media Lab Exhibits Superior Reliability Over Traditional Wireless Systems. Disponível em: https://cseweb.ucsd.edu/groups/csag/html/teaching/cse291s03/Readings/ember_white_paper%20R2.pdf. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [5] COSKUN, Vedat; OZDENIZCI, Busra; OK, Kerem. **A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology**. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vedat-Coskun-2/publication/257675463_A_survey_on_Near_Field_Communication_NFC_technology/links/544e44f30cf29473161af619/A-survey-on-Near-Field-Communication-NFC-technology.pdf. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [6] MORAK, Jurgen *et al.* **Schreier, Electronic Data Capture Platform for Clinical Research based on Mobile Phones and Near Field Communication Technology**. 2008. Published in: 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4650419>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [7] MORAK, J. *et al.* **Near Field Communication Technology as the Key for Data Acquisition in Clinical Research**. 2009. Published in: 2009 First International Workshop on Near Field Communication. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5190411>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [8] MIRAZ, Guillermo Matas *et al.* **How NFC Can Be Used for the Compliance of European Higher Education Area Guidelines in European Universities**. 2009. Published in: 2009 First International Workshop on Near Field Communication. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5190409>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [9] E c m a / T C 3 2 - T G 1 9 / 2 0 0 5 / 0 1 2 (s u p e r s e d e s 2 0 0 4 / 0 0 1) **Near Field Communication White paper**. Disponível em: <https://www.ecma-international.org/wp-content/uploads/tc32-tg19-2005-012-NFC-white-paper.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [10] PAREDES-PARRA, José Miguel *et al.* **An Alternative Internet-of-Things Solution Based on LoRa for PV Power Plants**: data monitoring and management. Data Monitoring and Management. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/881>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [11] HOELLER, Arliones *et al.* **Analysis and Performance Optimization of LoRa Networks With Time and Antenna Diversity**. 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8372906>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [12] ANATEL (2018). Ato nº 6506, de 27 de agosto de 2018
- [13] ALBINO, Vito *et al.* **Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives**. Journal of Urban Technology. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10630732.2014.942092>. Acesso em: 04 nov. 2022.
- [14] ANDRADE, Roberto Omar; YOO, Sang Guun. **A comprehensive study of the use of lora in**

thedevelopment of smart cities.*Applied Sciences*. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/22/4753>. Acesso em: 04 nov. 2022.

[15] WAN, Jie *et al.* **Wearable IoT enabled real-time health monitoring system**. 2018. Published in :EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Disponível em: <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-018-1308-x>. Acesso em: 04 dez. 2022.

[16] TAT, Yu Tsz *et al.* **Feasibility Studies on Smart Pole Connectivity Based on LPWA IoT Communication Platform for Industrial Applications**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8591546>. Acesso em: 04 nov. 2022.

[17] HAIHAEM, Rahim *et al.* **Surveying and Analyzing Urban Environment Approaches of Air Quality Monitoring**. 2019. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-03101-5_1. Acesso em: 04 nov. 2022.

[18] ZGUIRA, Yosra *et al.* **Internet of Bikes: a dtn protocol with data aggregation for urban data collection**. A DTN Protocol with Data Aggregation for Urban Data Collection. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/9/2819>. Acesso em: 04 nov. 2022.

[19] 4G: Tecnologias de Celular. Disponível em: http://www.teleco.com.br/4g_tecnologia.asp. Acesso em 15 nov. 2022