

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

COMO A REDE LORA PODE AUXILIAR A TRANSFERÊNCIA DE DADOS À
LONGA DISTÂNCIA NO MEIO RURAL

LUCAS CAMPOS DOS SANTOS

MARINGÁ – PR

2022

LUCAS CAMPOS DOS SANTOS

**COMO A REDE LORA PODE AUXILIAR A TRANSFERÊNCIA DE DADOS À
LONGA DISTÂNCIA NO MEIO RURAL**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Software, sob a orientação do Prof. Msc. Aparecido Vilela Junior

MARINGÁ – PR

2022

LUCAS CAMPOS DOS SANTOS

**COMO A REDE LORA PODE AUXILIAR A TRANSFERÊNCIA DE DADOS À
LONGA DISTÂNCIA NO MEIO RURAL**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenheiro de Software, sob a orientação do Prof. Msc. Aparecido Vilela Junior

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor – (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

COMO A REDE LORA PODE AUXILIAR A TRANSFERÊNCIA DE DADOS À LONGA DISTÂNCIA NO MEIO RURAL

RESUMO

Long Range (LoRa) é uma tecnologia sem fio projetada para operar em baixa potência e de longo alcance. LoRaWAN é um protocolo de rede de longa distância que incorpora o LoRa. Com o incessante progresso tecnológico, faz-se necessário a modernização da agricultura para uma agricultura de precisão, ou seja, com novas tecnologias. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar o problema de conectividade no meio rural apresentando a rede LoRa como uma alternativa viável para solucionar esse problema. Para atingir esse objetivo, adotou-se à pesquisa bibliográfica a temática principal que é o estado da arte da LoRa e suas ramificações, ou seja, a problemática da crescente demanda de alimentos, a falta de conectividade no âmbito rural para evidenciar e apresentar a LoRa como solução para aumentar a conectividade em áreas rurais. Também foi aplicado um questionário em proprietários rurais para responder perguntas relacionadas à internet no meio rural e respectivas tecnologias relacionados a Agricultura de Precisão. Os resultados mostram, a partir da implementação da LoRa numa propriedade rural, na medição da temperatura de uma represa, a 3km de distância, que a eficiência da LoRa na prática prepara o terreno para novas aplicações que mostram suas possibilidades ilimitadas, principalmente no meio rural, onde a conectividade a quilômetros de distância é essencial. É inevitável que todo o setor agrícola passe por transformações em paralelo ao progresso tecnológico e, portanto, é mais do que necessário se modernizar com novas tecnologia para manter-se competitivo e eficiente na produção para suprir a demanda de alimentos e a LoRa é a tecnologia ideal para aprimorar as operações no dia a dia.

Palavras-chave: LoRaWAN. Agricultura de Precisão. Demanda Mundial de Alimentos.

HOW THE LORA NETWORK CAN HELP LONG DISTANCE DATA TRANSFER IN RURAL AREAS

ABSTRACT

Long Range or LoRa is a wireless technology designed for low power and long range operation. LoRaWAN is a long distance network protocol that incorporates LoRa. With the incessant technological progress, it is necessary to modernize agriculture for precision agriculture, that is, with new technologies. In this sense, the present work has as a general objective to analyze the connectivity problem in rural areas showing LoRa as a viable alternative to solve this problem. To achieve this goal, the bibliographical research was adopted as the main theme, which is the state of the art of LoRa and its ramifications, that is, the problem of the growing demand for food and the lack of connectivity in rural areas to highlight and present LoRa as a solution to increase connectivity in rural areas. A questionnaire was also applied to 22 rural landowners to answer questions related to internet in rural areas and their technologies related to Precision Farming. The results show from the implementation of LoRa in a rural property in measuring the temperature of a reservoir 3km away show the efficiency of LoRa in practice and prepare the ground for new applications that show its unlimited possibilities, especially in rural areas where connectivity at kilometers away is essential. It is inevitable that the entire agricultural sector undergoes transformations in parallel with technological progress, and therefore it is more than necessary to modernize with new technology to remain competitive

and efficient in production to meet the demand for food, and LoRa is the ideal technology to enhance day to day operations.

Keywords: LoRaWAN. Precision agriculture. World Food Demand.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a humanidade se deparou com um crescimento populacional expressivo. No início do século XX, a população mundial era de 1,6 bilhão de pessoas, ao final desse mesmo século, atingimos 6,1 bilhões de pessoas, isso se deve ao fato da melhora da qualidade de vida em países subdesenvolvidos. Com uma população maior, houve o crescimento da demanda mundial por alimentos (SOUZA, [2022]).

Esse aumento da demanda aliado ao aumento tecnológico do século XX modernizou o meio rural, tornando esse ambiente mais competitivo, desenvolveu novas técnicas e tecnologias para serem aplicadas em diversas áreas do agronegócio, a fim de aumentar a produtividade do mesmo e assim suprir a nova demanda alimentar mundial.

Nos anos de 1990, com o propósito de aumentar a produtividade do meio rural, foi inserido no campo a chamada Agricultura de Precisão junto a consolidação de tecnologias como Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), tornando possível mapear a área da fazenda com uma precisão inédita, os sistemas de precisão não se resumem somente a cultura de grãos, mas expandiu e expande para outras áreas dentro do agronegócio, como exemplo a pecuária, a piscicultura etc. (BERNARDI, 2014).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento criou, em 2012, a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, com o objetivo de fomentar a pesquisa, o ensino e o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao campo (MAPA, 2019).

Embora a tecnologia de precisão tenha evoluído muito, a comunicação entre tecnologias, no meio rural é um grande problema. Um dos grandes fatores desse problema é a deficiência na cobertura de sinal, tornando assim o meio rural brasileiro um lugar distante e remoto. Com isso, para avanços tecnológicos maiores na zona rural, o requisito fundamental é o acesso à conectividade (CAMARGO, SOARES, 2021).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Essa pesquisa tem por objetivo geral analisar o problema de conectividade no meio rural apresentando a rede LoRa como uma alternativa viável a solucionar este problema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Assim, para atingir o objetivo geral proposto, faz-se necessário os seguintes objetivos específicos:

- (a) Compreender historicamente o contexto do meio rural brasileiro;
- (b) Compreender os desafios da agropecuária na demanda crescente de alimentos;
- (c) Compreender qual o cenário brasileiro em relação à conectividade rural;
- (d) Compreender o funcionamento da rede LoRa para determinar o que é necessário para implementação dela;
- (e) Implementar uma rede LoRa em uma propriedade rural.

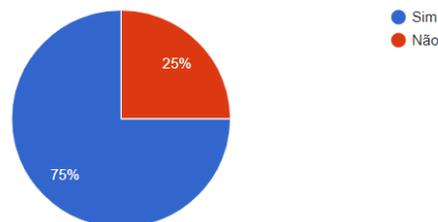
3 JUSTIFICATIVA

A alta demanda de alimentos da atualidade fez com que aumentasse a necessidade de maior produtividade no meio rural, respeitando acordos climáticos. Dessa forma, surgiu a Agricultura de Precisão, entretanto para implementação dessa tecnologia se faz necessário que o ambiente rural esteja cada vez mais conectado à internet, e devido as dificuldades encontradas, é crucial uma tecnologia que possa transmitir dados de forma eficiente à longa distância.

Além disso, por meio de uma pesquisa quantitativa com proprietários rurais, mostrou-se que eles possuem uma alta deficiência na cobertura de sinal (Conforme gráfico 1) e não estão satisfeitos com a abrangência de internet Wi-Fi em suas propriedades (Conforme gráfico 2).

Gráfico 1 – Deficiência na cobertura de sinal (Internet, Redes Móveis etc.)

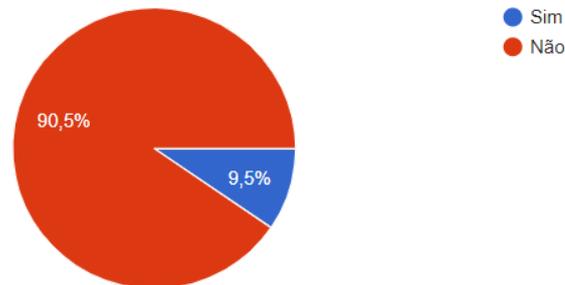
Você considera a **deficiência na cobertura de sinal (Internet, Redes Móveis, etc)** no meio rural um empecilho na implementação de tecnologias de precisão em sua propriedade rural?



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 2 – Disponibilidade de Wi-Fi na propriedade

Seu Wi-Fi funciona em todas as áreas da propriedade que gostaria?



Fonte: Autoria própria (2022).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 ÊXODO RURAL

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, [2022]), o índice de urbanização (taxa da população que vivia em grandes cidades) do Brasil em 1940 era um pouco mais de 26%. Quarenta anos depois, na década de 1980, o índice chegou a 70%, ou seja, a população urbana mais do que dobrou em relação à rural. A reprodução social da agricultura familiar e fatores como a autonomia e o papel da produção de alimentos para o autoconsumo (GAZOLLA; SCHNEIDER, 2007 Apud HEIN, 2019) visam entender a vulnerabilidade da agricultura familiar e a complexidade dos problemas que permeiam esses espaços. Hein (2019) aponta que por conta das dificuldades na reprodução social, há uma visibilidade maior de fenômenos demográficos de esvaziamento de regiões rurais.

Esses fenômenos são entendidos a partir do conceito de êxodo rural. A conceituação de êxodo rural é basicamente o processo de migração de pessoas da zona rural para a urbana, ou seja, a saída de moradores do campo com destino às grandes cidades devido aos problemas mencionados anteriormente. Segundo um estudo divulgado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, [2022]), no Brasil, a maior concentração de movimentos de migração ocorreu entre as décadas de 1960 e 1980, depois disso os índices se mantiveram em constante queda (ESTADÃO, 2022).

Mueller e Martini (1997) ressaltam que as mudanças tecnológicas na agricultura assumiram características distintas entre países que reforçaram disparidades como a distribuição de riqueza etc. Essas disparidades ocorrem por conta de tecnologias serem

fornecidas para alguns, mas não para todos. Por exemplo, no Brasil, a introdução de tecnologias agropecuárias com impactos na produtividade teve início há muito tempo, mas de forma localizada espacialmente – em São Paulo –, e seletiva em termos de produtos (MUELLER; MARTINI, 1997).

Nesse sentido, o Brasil vem sofrendo diminuição drástica, nos últimos 50 anos, da população que reside na zona rural (FROEHLICH et al., 2011). O sentimento utópico de que uma vida na cidade grande é melhor produz consequências tanto para o meio rural quanto para os centros urbanos, pois favorecem o aumento do desemprego nos centros urbanos e diminuição da mão de obra no meio rural, interferindo no custo de contratação da mesma (RODRIGUES, et al., 2020).

4.2 OS DESAFIOS CRESCENTES DA AGROPECUÁRIA NA DEMANDA CRESCENTE DE ALIMENTOS

De acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, [2022]), em 2022 a população mundial atingiu a incrível marca de 8 bilhões. Segundo o organismo internacional, nesse contexto, o aumento nos nascimentos em países de baixa renda é uma das preocupações para as próximas décadas tanto quanto a necessidade da agropecuária se modernizar, pois como apontam Saath e Fachinello (2018), as projeções populacionais indicam crescimento acelerado e contínuo nas próximas décadas, o que deve elevar a demanda de alimentos em geral. Além disso, o processo de urbanização acelerado trouxe ainda mais problemas para a agropecuária que, por sua vez, sofre de muitos atrasos quanto à implementação de novas tecnologias já conhecidas nas cidades.

Outros problemas como aqueles relacionados às pautas climáticas, por exemplo, Abramovay (2010 Apud SAATH; FACHINELLO, 2018) constata que, na África Subsaariana, onde também há terras disponíveis para o crescimento da área agropecuária, devem ocorrer grandes reduções da produção devido ao aquecimento global. Em termos legislativos, o Brasil já se preveniu a partir do desenvolvimento do Código Florestal Brasileiro (CFB) - Lei Federal n. 12.651/2012 que torna não só o Brasil um grande produtor mundial de alimentos, utilizando extensas áreas de terra para fins produtivos, mas que o país caminha em paralelo com a preocupação das questões ambientais relacionados à conservação e à preservação de milhões de quilômetros quadrados de terras.

Nesse contexto, com o aumento populacional e alta demanda de alimentos, faz-se necessário que a agricultura se transforme em precisão. O progresso e inovação tecnológica e

nas pesquisas são os grandes eixos do desenvolvimento econômico e dos ganhos de produtividade e sustentabilidade, portanto, o setor agropecuário para se manter competitivo precisa suprir a deficiência de internet e a conectividade à longa distância. Bassoi et al. (2019) evidenciam que foi a partir da revolução verde que os sistemas agropecuários sofreram grandes transformações, como a introdução de novas tecnologias de fertilização, correção da acidez do solo, irrigação, uso de pesticidas etc.

Entender o conceito de agricultura de precisão é de suma importância para preencher as lacunas teóricas relacionados à pouca implementação da rede LoRa na agricultura brasileira. No Brasil, em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6 Apud INAMASU; BERNARDI, 2014).

4.3 INTERNET NO MEIO RURAL

Com o progresso tecnológico, a globalização incessante do mundo moderno e a crescente urbanização houve, muitas vezes, um retrocesso ou, simplesmente, descaso com a população do meio rural. No entanto, com as novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), buscou-se novas oportunidades para transformar tecnologicamente os espaços no meio rural e os agricultores e, assim, levar internet para esses lugares. Segundo os Dados do Comitê Gestor da Internet no Brasil – CGI (2016) apontam que, em 2008, o índice de acesso à rede no meio rural era de 15% frente a 38% na zona urbana, porém, os dados demonstram, a cada ano, um crescimento dessa realidade. Já em 2016, por exemplo, esse índice dobrou no meio rural, atingindo 39%, enquanto no meio urbano atingiu 65% do total de domicílios com acesso à internet (CGI, 2016).

Diante dessa contextualização, faz-se um breve enquadramento teórico sobre a internet no meio rural. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, [2022]), o índice de urbanização (taxa da população que vivia em grandes cidades) do Brasil, em 1940, era um pouco mais de 26%. Quarenta anos depois, na década de 1980, o índice chegou a 70%, ou seja, a população urbana mais do que dobrou em relação à rural. Conceição e Schneider (2019) analisam extensivamente a utilização da internet no meio rural e, portanto, seu desenvolvimento. A utilização da internet no meio rural permite aos agricultores acesso à informações, como tendências de preço e de safra, clima, novas formas de manejo, técnicas e

maquinários, beneficiando sua propriedade, sua produção e sua qualidade de vida no campo (CONCEIÇÃO; SCHNEIDER, 2019).

Assim, a internet produz oportunidades melhores de gestão das propriedades, uma melhoria na administração de situações, prever cenários etc. Por exemplo, novas tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) dão uma nova dimensão na área de agricultura inteligente e domínio da agricultura. Define-se a IoT como a tendência de conectar “coisas” que podem, ativa ou passivamente, coletar, monitorar e trocar dados e informações, inclusive máquina a máquina (M2M), por intermédio de redes de comunicação, com ou sem fio, sem a presença constante do ser humano (SEIXAS; CONTINI, 2017). Dessa maneira, há uma consideração que não há efeitos negativos da internet no meio rural, pois o setor de agronegócio apresenta condições férteis para testes e adoção de tendências tecnológicas, serviços de TI e Software. Além disso, especificamente a LoRa traz a possibilidade de conectividade transferências à longa distância, sendo possível conectar as bases agrícolas situadas em áreas rurais de forma eficiente.

Conceição e Schneider (2019) ressaltam que a internet permitiu uma racionalidade econômica nunca vista no meio rural, fazendo os agricultores terem uma visão melhor dos negócios e, especificamente, da produção.

Segundo dados de pesquisa realizada pelo Sebrae (2017), através do programa “Tecnologia de Informação no Agronegócio”, observou-se que os agricultores, ainda que receosos, vêm utilizando a internet na gestão de sua propriedade rural. Dessa maneira, o Sebrae entrevistou 4.467 produtores rurais, distribuídos pelos estados brasileiros, dentre os quais apresentaram maior percentual de utilização da internet no gerenciamento do negócio rural, tanto no computador como no celular, foram Roraima (35,3% dos entrevistados), Rio Grande do Norte (28,8%), Amazonas (28,3%), Pernambuco (25,6%), Paraná (25,4%), Distrito Federal (24%), Goiás (22,3%), Minas Gerais (21,2%), tendo o Rio Grande do Sul 12,7% dos respondentes utilizando a internet no computador e no celular (CONCEIÇÃO; SCHNEIDER, 2019).

Conceição (2019) aponta que a internet tem se mostrado uma facilitadora no que diz respeito ao acesso a novos mercados por empreendimentos rurais, implicando numa comunicação que gera resultados positivos e conhecimentos novos. Assim, a inclusão digital representa um canal privilegiado para a equalização de oportunidades para todos os segmentos da sociedade, seja ela urbana ou rural, ficando cada vez mais próxima da cidadania e da inclusão social.

4.4 REDES LORAWAN

Esta seção apresenta a pesquisa que fornece uma breve imagem do estado atual da arte da rede LoRa. LoRaWAN é um padrão de rede de área ampla e baixa potência (LPWAN) baseado nos dispositivos LoRa da Semtech. Os dispositivos LoRa da Semtech, blocos de construção de software LoRa Basics, soluções de software LoRa Cloud, e o padrão LoRaWAN oferecem uma solução eficiente, flexível e econômica para problemas do mundo real em casos de uso rural e interno, onde celular, Wi-Fi e Bluetooth são ineficazes. Dentre as redes LPWAN existentes, a LoRa é a tecnologia que mais se destaca comercialmente com seu protocolo LoRaWan (FACINA, et al., 2021).

LoRa é uma tecnologia de modulação de RF para redes de longa distância de baixa potência (LPWANs). Essa modulação se baseia em técnicas de espalhamento espectral que usam formas de redundância para acrescentar robustez e segurança ao sinal (SANTOS; CUNHA, 2019). A LoRa permite comunicações de longo alcance: até 5km em áreas urbanas e até 15km ou mais em áreas rurais (linha de visão), portanto, um único gateway baseado em LoRa pode transmitir sinais dessas distâncias (DELAVAL; KARTHIKEYAN, 2018). Uma característica fundamental das soluções baseadas em LoRa é o requisito de baixo consumo de energia, que permite a criação de dispositivos operados por bateria que podem durar até 10 anos (SANTOS; CUNHA, 2019).

O espalhamento espectral é um conjunto de técnicas que buscam espalhar um sinal em banda base no domínio da rede. O DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) que é uma sequência direta de espalhamento do espectro, fornece uma densidade espectral de potência muito baixa espalhando a potência do sinal sobre uma faixa de frequência muito larga (SANTOS; CUNHA, 2019). Nesse sentido, objetos físicos que usam o endereço IP para conectividade com a internet precisam ser aprimorados para ter melhor conectividade e protocolos de comunicação sem fio com baixo consumo de energia (SAĞIR, et al., 2019).

Diferentes estratégias são utilizadas para lidar com problemas de pacote e latência, por exemplo, na Europa, as operadoras de rede móvel implementaram uma estratégia dupla, onde geralmente oferecem LoRaWAN e Cat-M1, que são tecnologias complementares, assim, o LoRaWAN acomoda a necessidade de maior duração da bateria, com uma compensação de latência mais longa e com tamanhos de pacote menores, enquanto o Cat-M1 pode ser usado para cargas maiores com menos latência do que o LoRaWAN pode acomodar (FASCINA, et al., 2021).

Quadro 1 - Especificações operacionais da Rede LoRa

Especificação	Suporte LoRa
Intervalo de Células	Urbano 2-5 km, Rural 15-20 km
Faixa de frequência	Bandas ISM: 433 MHz/868 MHz/780 MHz/915 MHz
Padrão IEEE	IEEE 802.15.4g
Capacidade da célula	Uma célula LoRa pode suportar um dispositivo de 100K
Disponibilidade padrão	Especificação disponível desde junho de 2015, existem redes Live LoRa em mais de 50 países (STEMTECH, 2015).
Modulação	Os tipos de modulação de espectro espalhado são usados com pulsos FM lineares de banda larga. Fornece cerca de 30 dB de ganho sobre FSK
Bateria	Cerca de 20 anos de duração da bateria
Suporte à topologia LoRa	Topologia em estrela
LoRa Camada Física	Cuide da potência, frequência, modulação e sinalização entre a estação base e os dispositivos

Fonte: Autoria própria (2022).

É predominante na literatura da LoRa que trabalhos internacionais sejam mais refinados na busca do enquadramento do estado da arte, a exemplo de Delaval e Karthikeyan (2018), que utilizam da metodologia de revisão sistemática da literatura. No que diz respeito à duração da bateria, a energia necessária para transmitir um pacote de dados é mínima, pois os pacotes de dados são muito pequenos e transmitidos apenas algumas vezes ao dia. (DELAVAL;

KARTHIKEYAN, 2018; SAGIR, et al., 2019). Além disso, uma vantagem primordial é que quando os dispositivos finais estão inativos, o consumo de energia é medido em miliwatts (mW), permitindo que a bateria de um dispositivo dure muitos e muitos anos.

Quando se trata de capacidade, uma rede LoRaWAN pode suportar milhões de mensagens. No entanto, o número de mensagens com suporte em qualquer implantação depende do número de gateways instalados. Um único gateway de oito canais pode suportar algumas centenas de milhares de mensagens ao longo de um período de 24 horas (SAN-UM, et al., 2017) e se cada dispositivo final enviar 10 mensagens por dia, esse gateway poderá suportar cerca de 10.000 dispositivos. Se a rede incluir 10 desses gateways, a rede poderá suportar aproximadamente 100.000 dispositivos e um milhão de mensagens (SAN-UM, et al., 2017).

Em questões referentes à economia, os dados dos recursos de nós finais e gateways baseados em LoRa, apenas alguns gateways – configurados em uma rede em estrela – são necessários para atender a uma infinidade de nós finais (SAN CHEONG, et al., 2017). Isso significa que as despesas de capital e operacionais podem ser mantidas relativamente baixas, além disso, quando os módulos Wireless RF LoRa econômicos que são incorporados em nós finais baratos usados em conjunto com o padrão LoRaWAN aberto, o retorno sobre o investimento pode ser considerável (SAN CHEONG, et al., 2017).

Uma técnica proprietária de modulação de espectro espalhado derivada da tecnologia Chirp Spread Spectrum (CSS) existente. Neste caso, a LoRa oferece uma compensação entre sensibilidade e taxa de dados, enquanto opera em um canal de largura de banda fixa de 125 KHz ou 500 KHz (para canais de uplink), e 500 KHz (para canais de downlink). Além disso, LoRa usa fatores de espalhamento ortogonais. Isso permite que a rede preserve a duração da bateria dos nós finais conectados, fazendo otimizações adaptáveis dos níveis de energia e taxas de dados de um nó final individual. Por exemplo, um dispositivo final localizado próximo a um gateway deve transmitir dados com um fator de dispersão baixo, pois é necessário muito pouco orçamento de link. No entanto, um dispositivo final localizado a vários quilômetros de um gateway precisará transmitir com um fator de propagação muito maior. Este maior fator de espalhamento proporciona maior ganho de processamento (DELAVAL; KARTHIKEYAN, 2018, p. 5-6).

O CSS é benéfico, pois é uma técnica de modulação que utiliza chirps que variam continuamente em frequência, além de ter muitas propriedades, por exemplo, baixos requerimentos de potência de transmissão e alta robustez a efeitos, como múltiplos percursos e interferência (SANTOS; CUNHA, 2019). LoRa é puramente uma implementação de camada física (PHY) ou "bits", conforme definido pelo modelo de rede de sete camadas OSI,

representado na Figura 3. Em vez de cabeamento, o ar é usado como um meio para transportar ondas de rádio LoRa de um Transmissor de RF em um dispositivo IoT para um receptor de RF em um gateway e vice-versa (DELAVAL; KARTHIKEYAN, 2018; SAN CHEONG, 2017; SAN-UM, et al., 2017). Além disso, o CSS oferece uma alternativa DSSS de baixo custo e baixo consumo de energia, mas robusta, que não requer um sinal de relógio altamente preciso (WIXTED, et al., 2016).

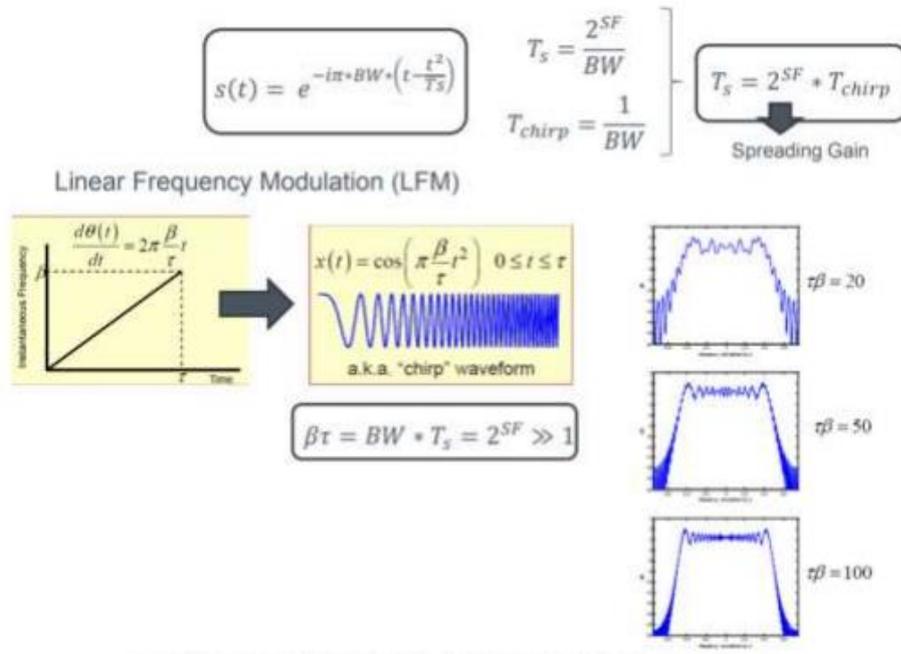
Como visto anteriormente, na modulação LoRa, o espalhamento do espectro do sinal é obtido gerando um sinal chirp que varia continuamente em frequência. Uma vantagem desse método é que os deslocamentos de tempo e frequência entre o transmissor e o receptor são equivalentes, reduzindo bastante a complexidade do projeto do receptor (WIXTED, et al., 2016; SAN CHEONG, et al., 2017). A largura de banda de frequência deste chirp é equivalente à largura de banda espectral do sinal e o sinal de dados que transporta os dados de um dispositivo final para um gateway é chipado em uma taxa de dados mais alta e modulado no sinal portador chirp (SANTOS; CUNHA, 2019).

4.4.1 Principais Propriedades da Modulação LoRa

A modulação LoRa também inclui um esquema de correção de erro variável que melhora a robustez do sinal transmitido. Para cada quatro bits de informação enviada, um quinto bit de informação de paridade é enviado. O ganho de processamento LoRa é introduzido no canal de RF multiplicando o sinal de dados com um código de espalhamento ou sequência de chip. Ao aumentar a taxa de chip, aumentamos os componentes de frequência do espectro total do sinal (WIXTED, et al., 2017).

Em outras palavras, a energia do sinal total agora está espalhada por uma faixa mais ampla de frequências, permitindo ao receptor discernir um sinal com uma relação sinal-ruído (SNR) mais baixa (ou seja, pior).

Figura 1 - Modulação de LoRa CSS



Fonte: LORA ALLIANCE (2018).

Em termos de LoRa, a quantidade de código de espalhamento aplicada ao sinal de dados original é chamada de fator de espalhamento (SF) (WIXTED, et al., 2017). A modulação LoRa tem um total de seis fatores de espalhamento (SF7 a SF12). Quanto maior o fator de espalhamento usado, mais longe o sinal poderá viajar e ainda ser recebido sem erros pelo receptor de RF (WIXTED, et al., 2017).

As características de modulação LoRa para cada região são definidas no documento LoRaWAN Regional Parameter, disponibilizado no LoRa Alliance. Por exemplo, na América do Norte, existem 64 canais de uplink LoRa de 125 kHz definidos, oito canais de uplink de 500 kHz, bem como oito canais de downlink de 500 kHz definidos (WIXTED, et al., 2015). Na América do Norte, os gateways podem ter até 64 canais de uplink de 125 kHz, bem como oito canais de uplink e downlink de 500 kHz. Enquanto, no Brasil, sua atuação é de 902-907,5 MHz e 915-928 MHz, conforme ato 14448 da Anatel (FACINA, et al., 2021).

O servidor de rede LoRaWAN (LNS) gerencia toda a rede, controla dinamicamente os parâmetros de rede para adaptar o sistema às condições em constante mudança e estabelece conexões AES seguras de 128 bits para o transporte de dados de ponta a ponta (do dispositivo final LoRaWAN para o aplicativo de usuários finais na nuvem), bem como para o controle do tráfego que flui do dispositivo final LoRaWAN para o LNS (e vice-versa) (DELAVAL; KARTHIKEYAN, 2018; WIXTED, et al., 2017).

O servidor de rede garante a autenticidade de cada sensor na rede e a integridade de cada mensagem. Ao mesmo tempo, o servidor de rede não pode ver ou acessar os dados do aplicativo.

4.5 IMPLEMENTAÇÕES DA REDE LORA

Tanto na literatura nacional quanto na internacional, as implementações mais citadas na Rede LoRa são aplicações para as *smart cities* (traduzido para cidades inteligentes) como: medição inteligente de gás, água, eletricidade e lixo, monitoramento da infraestrutura de túneis, pontes e edifícios e monitoramento de condições ambientais como poluição e clima (SCHWAB, 2020). Outros cenários para aplicações são: monitoramento da poluição do ar, processamento agrícola e agricultura inteligente, rastreamento de animais, detecção de fogo, rastreamento de frota, segurança do lar, qualidade do ar interno, monitoramento de temperatura industrial, gerenciamento de ativos, manutenção preditiva, detecção de vazamento de radiação, iluminação inteligente, estacionamento inteligente, gestão de resíduos e monitoramento do fluxo de água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são sintetizados a implementação da rede LoRa em uma propriedade rural. A partir dos objetivos gerais e específicos, apresenta-se a rede LoRa como solução da problemática que ocasionada pelo aumento populacional, alta demanda de alimentos que, por sua vez, gera a necessidade da agricultura de precisão com tecnologias como a IoT e LoRa para modernizar o setor como um todo e ter conectividade necessária e não a deficiência da transferência de dados.

Neste contexto, essa pesquisa analisou o problema de conectividade no meio rural apresentando a rede LoRa como uma alternativa viável a solucionar esse problema. Para realizar esse objetivo, adotou-se a metodologia quantitativa e natureza aplicada.

Para cumprir o objetivo de compreender historicamente o contexto do meio rural brasileiro foi realizado uma pesquisa exploratória bibliográfica. Em seguida para compreender os desafios da agropecuária na demanda crescente de alimentos também foi realizada uma pesquisa exploratória bibliográfica. Os estudos bibliográficos tiveram um recorte temporal maior do que o esperado, que era 2019-2022, pois havia trabalhos de imprescindível importância de 2019 para trás. O resgate bibliográfico foi realizado nas bases digitais Biblioteca Digital Unicesumar (BDU), Google Acadêmico, Elsevier e principalmente no IEEE.

Para o objetivo de compreender qual é o cenário brasileiro em relação à conectividade rural foi realizado uma pesquisa quantitativa em forma de questionário com proprietários de terras rurais e foi realizado uma pesquisa exploratória bibliográfica.

Após isso, em relação a compreender o funcionamento da rede LoRa para determinar o que é necessário para implementação dela, também foi realizada pesquisa exploratória bibliográfica.

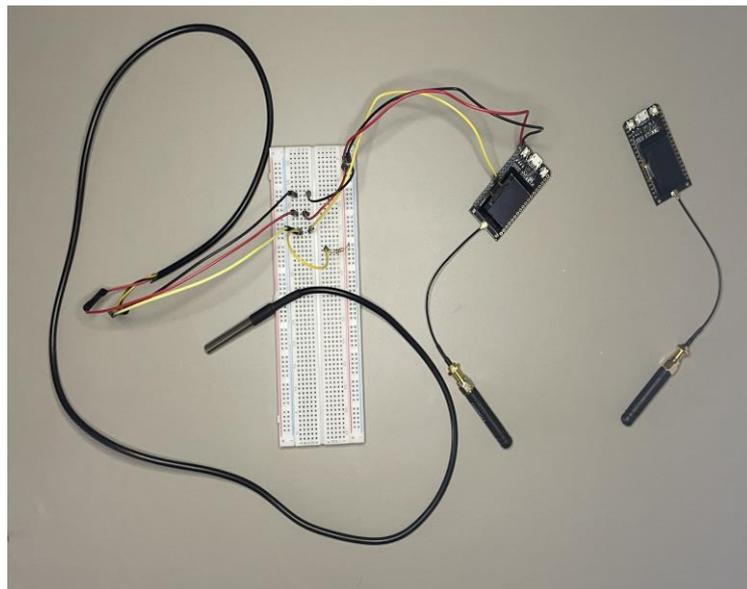
Por fim, a rede LoRa foi implementada em uma propriedade rural. Os materiais utilizados são apresentados no Quadro (2) e na Figura (2):

Quadro 2 - Materiais utilizados

2 x Bateria Li-Íon 18650 2600 mAh
1 x Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água
2 x Módulo ESP32 LoRa 868/915Mhz com OLED 0.96"
2 x Suporte de Bateria 18650

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 2 - Material utilizado



Fonte: Autoria própria (2022).

6 CONCLUSÃO

O projeto apresentado mostrou-se eficiente em seu propósito, ou seja, analisar o problema de conectividade no meio rural apresentando a rede LoRa como uma alternativa viável a solucionar este problema.

Na Figura 2, há dois módulos LoRa, na parte superior está o receptor e na parte inferior com o sensor é o transmissor. Quando implementado a rede LoRa, foi possível testar a eficiência da conectividade ao medir a temperatura de uma represa à 3 quilômetros de distância (conforme a Figura 2), portanto, a rede LoRa quando implementada, se mostrou uma solução eficaz para resolver quaisquer problemas de conectividade à longa distância na propriedade rural escolhida, existem diversos equipamentos no mercado disponíveis para uso compatíveis com as tecnologias da rede LoRa® e LPWAN (por exemplo, Sensor 1M2M - ED1608, MultiTech – Conduit, ManThink – UM801, etc.) sendo relatado na literatura inúmeras aplicações da LoRa, aqueles ligados ao setor de agricultura, servem para otimizar processos agrícolas e gerar maiores lucros aos produtores rurais.

Figura 2 - Propriedade em Quarto Centenário - PR



Fonte: Google Maps (2022).

Como visto anteriormente, o padrão LoRa se encaixa no tipo de tecnologia denominada rede de área ampla e baixa potência, do inglês, *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), os quais permitem uma comunicação sem fio eficiente através de distâncias muito longas, que variam de 5 a 20 km, dependendo da topologia do local monitorado. No presente

trabalho, a topologia era substancialmente melhor e quando implementado a LoRa, o resultado se mostrou eficiente ao mandar a temperatura da água da represa.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Outras sugestões para trabalhos futuros seria, por exemplo, a análise de parâmetros como velocidade na transmissão de dados da rede LoRa, o monitoramento remoto de animais, a utilização de inteligência artificial para tomada de decisões de forma automatizada, entre outras aplicações.

REFERÊNCIAS

BASSOI, Luís Henrique et al. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. 2019.

BERNARDI, et al. **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar**. Embrapa, Brasília- DF 2014.

CAMARGO, Fernando Silveira; SOARES, Cleber Oliveira. Perspectivas para a inovação no agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 3, 2021.

COMITÊ GESTOR DE INTERNET – CGI **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: TIC domicílios 2016 / Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR** [editor]. -- São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2016.

CONCEIÇÃO, A. F. D.; SCHNEIDER, S. Internet e agricultura familiar: algumas percepções sobre as mudanças no meio rural. **Revista Margens Interdisciplinar**, 2019.

DEVALAL, Shilpa; KARTHIKEYAN, A. *LoRa technology-an overview*. In: 2018 **second international conference on electronics, communication and aerospace technology** (ICECA). IEEE, 2018. p. 284-290.

DE AQUINO RODRIGUES, Maria Telma et al. Êxodo Rural: perspectivas dos jovens sobre a vivência em meio rural. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 2, p. 729-738, 2020.

ESTADÃO. 2022. Êxodo rural: causas e consequências. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/exodo-rural-causas-e-consequencias/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

FACINA, Alex R. et al. **Comunicação LoRa na Zona Rural: Análise Baseada em uma Campanha de Medição no Noroeste Paulista**.

FROEHLICH, J. M.; RAUBER, C. C.; CARPES R. H.; TOEBE, Marcos. Selective exodus, masculinization and rural aging in the central Region of the RS. **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1674-1680, 2011.

HEIN, A. F.; DA SILVA, N. L. S. A insustentabilidade na agricultura familiar e o êxodo rural contemporâneo. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 394-417, 2019.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A.C D. C. **Agricultura de precisão**. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (MAPA) **Projeções do Agronegócio**. Projeções de Longo Prazo. Brasília- DF, 2019.

MUELLER, C. C.; MARTINE, G. Modernização da agropecuária, emprego agrícola e êxodo rural no Brasil-A década de 1980. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 17, p. 407-427, 2022.

SAN CHEONG, Phui et al. *Comparison of LoRaWAN classes and their power consumption*. In: 2017 **IEEE** symposium on communications and vehicular technology (SCVT). IEEE, 2017. p. 1-6.

SAN-UM, Wimol et al. *A long-range low-power wireless sensor network based on U-LoRa technology for tactical troops tracking systems*. In: 2017 Third Asian Conference on Defence Technology (ACDT). **IEEE**, 2017. p. 32-35.

SAĞIR, Selim et al. *Evaluation of low-power long distance radio communication in urban areas: LoRa and impact of spreading factor*. In: 2019 Seventh International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC). **IEEE**, 2019. p. 68-71.

SANTOS, N. S. G. D.; CUNHA, M. W. R. D. **Análise de redes Lorawan: desempenho indoor, outdoor, híbrido, aplicações e simulações utilizando NS3**. 2019.

SAATH, K. C. D. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, p. 195-212, 2018.

SEIXAS, M. A.; CONTINI, E. **Internet das coisas (IoT): inovação para o agronegócio**. 2017.

SCHWAB, A. L. **Criação de uma rede LoRa para projetos de pesquisa e desenvolvimento**. Orientador: Vandersilvio da Silva. 2020. 78 f. TCC (Graduação) - Curso em Ciência de Computação, Universidade Feevale.

SOUZA, Rafaela. Explosão demográfica. **Mundo Educação**, [2022]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/explosao-demografica.htm>. Acesso em: 17 nov. 2022.

WIXTED, Andrew J. et al. *Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks*. In: **2016 IEEE SENSORS**. IEEE, 2016. p. 1-3.