



Sistema concentrador de dados, para comunicação de dispositivos de medição de qualidade de energia, baseado em comunicação sem fio de alto alcance e baixo consumo com protocolo LORA.

Luiz Eduardo Galo de Moura.¹, Luis Henrique de Assumpção Lolis

¹ UFPR 1, Curitiba, Brasil

² UFPR 2, Curitiba, Brasil
galo@ufpr.br

Resumo - Transmissão à distância foi sempre um quesito principal para o avanço da globalização. A partir disso o objeto desta pesquisa se concentrará em montar uma comunicação com topologia em estrela utilizando protocolo LoRa (Long Range) para alcançar dispositivos remotos até à internet através de um gateway e estudar seu comportamento, como as quantidades de repetições utilizadas e dispositivos conectados à internet em uma determinada rede de microcontroladores. No concentrador final haverá um envio das mensagens recebidas à internet, via protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) no qual qualquer dispositivo na internet que se conectar a essa rede poderá receber a informação ou enviá-la. A função dessa rede é transmitir a informação em uma distância maior que um ponto de acesso à internet (como um Wi-Fi) possuindo uma boa qualidade. A primeira etapa do trabalho constituiu no estudo de envio e recepção do protocolo LoRa atrelado ao microcontrolador ESP32. Para a segunda etapa foi montada uma rede em estrela de forma automatizada, onde cada dispositivo da rede ao montar uma conexão auxilia outros futuros dispositivos a se juntarem a mesma rede. A terceira etapa foi composta por estudar e montar um servidor MQTT com a finalidade de ser externamente acessível para todos os interessados com a condição inicial que de estar conectado à internet, para isso o protocolo foi construído em uma máquina da UFPR e é acessível externamente. E por fim a última etapa se designou com a proposta de unir os trabalhos feitos, e atrelar ao final da rede LoRa em estrela um dispositivo conectado a internet que contenha todas as informações da rede.

I. INTRODUÇÃO

O principal enfoque desse estudo é construir uma rede utilizando o protocolo LoRa com o objetivo de possuir um firmware único, visando a facilidade de aplicação,

juntamente com a possibilidade de deixar a possibilidade da própria rede escolher a melhor topologia para cada caso.

Também é desenvolvido um método de ultrapassar apenas o caminho de uma conexão ponto a ponto, utilizando, caso necessário, repetições de sinais até o destino. Com a finalidade de contornar o problema de algum dispositivo dessa rede falhar é elaborado uma reinicialização de rede de forma automática com um tempo facilmente programável dentro do firmware.

E por fim, visando o estudo de rede como um todo e seu comportamento individual, ou seja, os dados necessários de cada dispositivo, é implementado um servidor MQTT no qual qualquer usuário conectado a esse servidor pode acessar de forma remota as mensagens vindas de qualquer dispositivo de forma individual.

II. PROTOCOLO LORA

Como já mencionado o protocolo LoRa é um tipo de modulação digital voltado a locais de difícil acesso e apresenta como características principais, a capacidade de realizar transmissões com longas distâncias e baixo consumo de energia, com uma utilização bem fácil e prática. As faixas de frequência permitidas no Brasil podem variar de 902 a 907,5MHz e 915 a 928MHz e sua distância depende de algumas variáveis como já mencionado na introdução. (*Specification. LoRa Alliance*).

Sua modulação é digital e baseada no sistema CCS (*Chirp Spread Spectrum*), propriedade intelectual da

empresa *Semtech*, onde se destaca a possibilidade de alternar entre a taxa de transmissão e o alcance. A informação é transmitida através de variações contínuas de frequência, por isso ao visualizarmos um gráfico de tempo x frequência, visualizamos retas crescentes (*up-chirps*) e retas decrescentes (*down-chirps*) ou seja, uma variação df/dt em um gráfico tempo x frequência pode assumir valores positivos e negativos, como mostrado na figura a seguir. (Fig 1)

Fonte: www.gta.ufrj.br (2014)

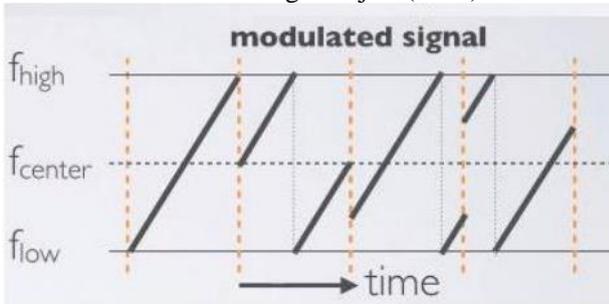


Fig 1: Gráfico modulação de sinal.

Nesse gráfico de modulação temos a variação de frequência (Eixo Y) com os valores médios, máximos e mínimos em relação ao tempo (Eixo X). A visualização também pode ser vista a partir de uma onda senoidal, mostrada na sequência. (Fig 2)

Fonte: www.embien.com. (2014)

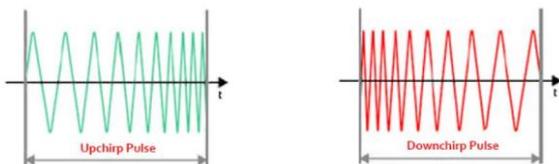


Fig 2. Gráficos ondas senoidais.

Em verde pode se observar *up-chirps*, em vermelho *down-chirps*. As frequências máximas e mínimas possuem representação matemática bem definida, onde a frequência máxima é dada pela próxima equação. (Eq. 1)

$$f_{\text{máx}} = \frac{BW}{2} + f_0 \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo BW é a largura de banda, analogamente a frequência mínima é definida a seguir. (Eq. 2)

$$f_{\text{mín}} = f_0 - \frac{BW}{2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Ao analisar o gráfico frequência x tempo, percebe-se que o chirp possui uma inclinação df/dt chamada de fator de espalhamento (SF). O SF influencia no espalhamento, na frequência e *Time on Air* (ToA) do *chirp* e possui

valores discretos e definidos, podendo assumir os seguintes valores: 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

III. MESSAGE QUEUING TELEMETRY

Message Queuing Telemetry (MQTT) possui algumas funções dentro de seu sistema, a terminologia conhecida como cliente será usada para realizar as tarefas de inscrição e publicação bem como se conectar a um servidor (Broker), esse último mencionado tem a função de ser um intermediário entre mais de um cliente, mediando e controlando todas as mensagens, como exemplificado na imagem a seguir. (*The Standard for IoT Messaging*) (Fig 3)

Fonte: MQTT.org (2015)

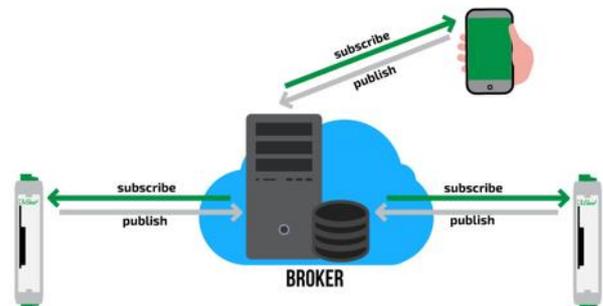


Fig 3. Estrutura Rede MQTT.

IV. CONSTRUÇÃO DE REDE E RESULTADOS

O projeto teve como objetivo unificar a transmissão de mensagens por protocolo LoRa com a topologia do tipo estrela. Para isso foi programado um código na plataforma Arduino IDE, e este código foi otimizado para uma versão única onde todos os microcontroladores possuem um único firmware. O parâmetro de escolha entre concentradores e nós deverá ser a conexão, onde o ESP 32 que estiver conectado a um Wi-Fi e a um servidor MQTT assumirá esse papel, observe que pode haver mais de um concentrador caso haja mais de um dispositivo conectado ao Wi-Fi.

A construção da lógica da programação dos ESP'S para a rede em estrela pode ser vista no fluxograma a seguir. (Fig 4)

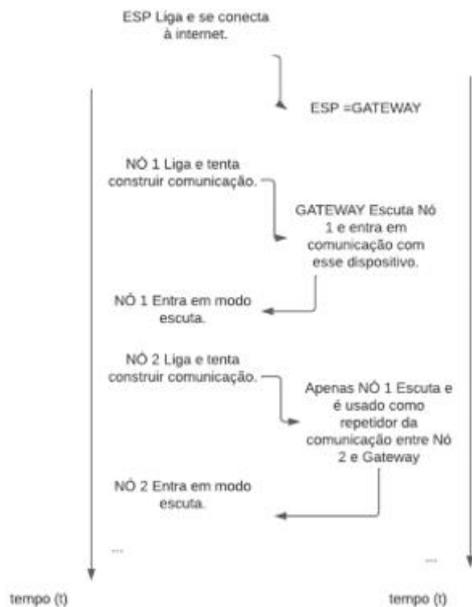


Fig 4. Fluxograma de construção de rede.

Assim, podemos possuir um código unitário alocado em todos os dispositivos e permitir que eles façam a melhor conexão entre eles em cada caso.

Porém é preciso contornar o problema caso algum dispositivo da rede que esteja repetindo vários sinais falhe, como mostra a figura a seguir. (Fig 5)

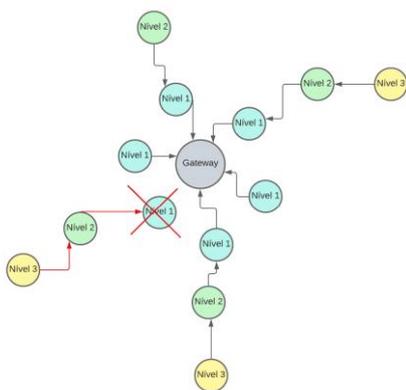


Fig 5. Exemplo de erro na rede.

Podemos perceber que uma falha desse tipo pode acarretar um grande problema de perda de pacote, uma vez que caso um dispositivo que esteja repetindo o sinal de outros falhe, esses módulos independentes mesmo estando em boas condições não conseguirão enviar suas respectivas mensagens. Para isso foi elaborado uma reinicialização de rede automatizada por um determinado período facilmente programável, e após esse período o gateway enviará um comando de reinicialização de rede e os dispositivos da rede vão repetir esse comando para os demais que não estejam ao

alcanço do concentrador e reiniciar, como mostra a figura a seguir. (Fig 6)

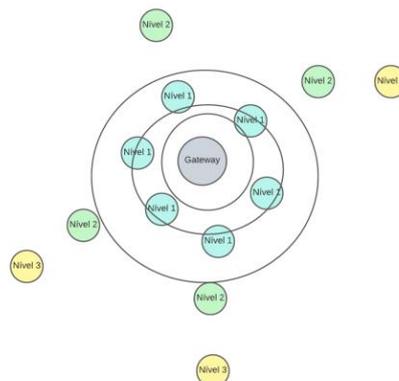


Fig 6. Reinicialização da rede.

Portanto após esse processo, a rede poderá se remodelar de uma forma que o dispositivo defeituoso não faça parte da rede, e assim caso haja possibilidade os microcontroladores dependentes daquela possam realizar conexão com outro próximo, como exemplifica a próxima figura. (Fig 7)

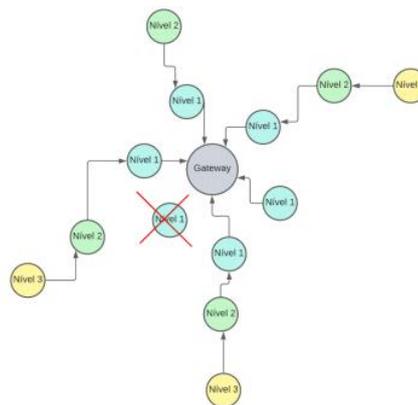


Fig 7. Remodelação da rede.

Para o utilizar o MQTT, foi preciso usar a plataforma Mosquitto, ela tem a função de atribuir este protocolo a uma determinada conexão de internet. O servidor é instalado no IP onde está a máquina hospedando o mosquitto, por isso o dispositivo que deseja conectar a este servidor deve usar esse IP junto a uma senha adotada por medidas de segurança de rede.

Para fins de manutenção de conexão e erros a rede reinicia após um período, que pode ser mudado facilmente no código. Assim utilizaremos esses pulsos de reconstrução de rede para mudar as posições dos microcontroladores e verificar a mudança ou a permanência de nível em um determinado dispositivo.

A coleta de dados foi feita a partir do sistema de endereçamento MAC. Essa característica é única para cada

microcontrolador e por isso tem bastante validade para ser um tópicos durante a inscrição de determinado *client*. Onde o concentrador publicará a mensagem recebida pelos nós utilizando o MAC do destino inicial como tópicos. Portanto, para acessar determinado dado de um microcontrolador, basta se inscrever no seu tópicos único.

Assim, foram alcançadas duas topologias usando quatro microcontroladores como observado a seguir. (Fig 8)

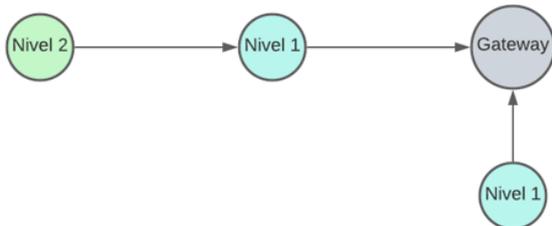


Fig 8. Topologia alcançada.

E para a próxima topologia, o resultado se mostra promissor uma vez que é feita totalmente em linha. (Fig 9)

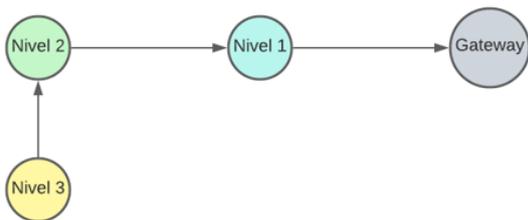


Fig 9. Topologia em linha.

E para cinco microcontroladores o resultado é exemplificado na próxima figura. (Fig 10)

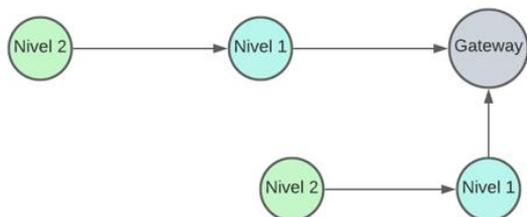


Fig 10. Topologia para cinco dispositivos.

Todos as informações da rede foram alcançadas através da plataforma MQTT Tool, onde para a rede de cinco

dispositivos o resultado ficou como é mostrado na figura a seguir. (Fig 11)

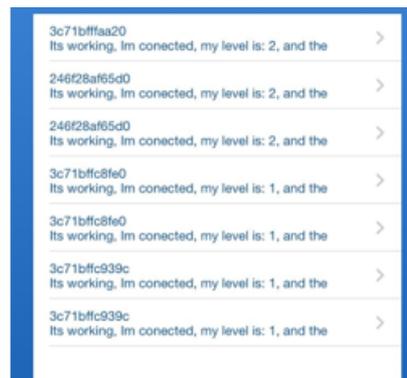


Fig 11. Client MQTT observado para a rede.

Portanto, podemos observar vários tópicos vindos para o *client*, onde cada um deles representam um endereço MAC diferente possuindo uma mensagem individual.

V. CONCLUSÃO

Sendo assim podemos perceber o pleno funcionamento da rede, assim como o êxito em todos os objetivos, como a construção automática da rede utilizando apenas um firmware e a conexão automática com o servidor MQTT e à internet. Também conseguimos obter todos os dados necessários para o estudo da rede, onde é possível ver a rede em qualquer aparelho que esteja conectada à internet.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao GICS (Group of Integrated Circuits and Systems) UFPR por todo suporte oferecido ao longo do trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. Sistemas de comunicação. 5. ed. [S. l.]: Bookman, 2011.Referência 2.
- [2] LORAWAN™ 1.1 Specification. LoRa Alliance, Inc., [s. l.], 2017. Disponível em: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawanm_specification_v1.1.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.Referência 4.
- [3] STAR network. [S. l.]: Andrew Froehlich, 2021. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/star-network>. Acesso em: 15 set. 2022.
- [4] MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01: OASIS Standard Incorporating Approved Errata 01. [S. l.], 10 dez. 2015. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>. Acesso em: 14 set. 2022.
- [5] MQTT: The Standard for IoT Messaging. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://mqtt.org/>. Acesso em: 13 set. 2022.