XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

CB/GTL/04

GRUPO - XV
Grupo de Estudo de Sistemas de Informação e Telecomunicação Para Sistemas Elétricos- GTL

COMUNICAÇÃO SEM FIO COM AMPLA COBERTURA PARA REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES EM MEIO RURAL

Flavio Eduardo Soares e Silva
RGE SUL

Carlos Barriquello
UFSM

Daniel Bernardon
UFSM

Luciane Canha
UFSM

Daniel Porto
RGE SUL

Maicon Ramos
RGE SUL

RESUMO

Este artigo tem como objetivo fornecer uma visão geral dos requisitos de comunicação para redes inteligentes rurais e as opções disponíveis para comunicações sem fio, capaz de satisfazer tais requisitos. Em primeiro lugar, os principais impactos, benefícios, desafios e exigências de uma rede sem fio de comunicação para rede inteligente rural ou Smart Grid Wireless Communication Network (SGWCN) são introduzidos. Em seguida, vamos analisar e discutir as tecnologias de comunicação sem fio disponíveis que podem atender a essas necessidades, com uma comparação das opções de comunicação disponíveis em termos de complexidade da infraestrutura e de custos e desempenho esperado. Finalmente, apresentamos e discutimos os resultados obtidos através de simulações do desempenho da rede em termos de capacidade da rede, latência de comunicação, taxa de entrega de pacotes e confiabilidade.

Comunicação Sem Fio, Smart Grid, Redes Elétricas Inteligentes, LPWA, Comunicação Rural.

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde o advento dos primeiros projetos de Redes Elétricas Inteligentes ou Smart Grid no Brasil, a implantação acelerada de várias tecnologias e diversas aplicações foram experimentadas. Esses estudos buscam trazer à tradicional rede de energia elétrica mais confiabilidade, resistência e eficiência. Apesar de vários projetos e conhecimento difundido, ainda não está totalmente claro qual solução de tecnologia de comunicação é a melhor para atender todas as aplicações de Redes Elétricas Inteligentes (REI). Isso ocorre porque essas aplicações têm diferentes requisitos de rede – nas demandas de taxa de transferência de dados, taxas de amostragem, latência e disponibilidade, conforme ilustrado na figura 1.

APLICAÇÃO	TAMANHO TÍPICO DO DADO (bytes)	Amostragem Típica	Latência	Disponibilidade (%)	WAN, NAN ou HAN
Automação Residencial	10-100	UBR - Amostra variável e configurável (Ex.: A cada 1 min, 15 min, etc...)	segundos	>98	HAN
Automação Comercial	>100	UBR - Amostra variável e configurável (Ex.: A cada 1 min, 15 min, etc...)	segundos	>98	HAN
Leitura de Medição	1600-2400	UBR - 4 a 6 amostras diárias para grupo B e 24 amostras diárias para grupo A	<4h	>98	NAN
Atualização de Tarifa (Utilitie - Medidor)	100	UBR - de 2 a 6 amostras por dia	< 1 min	>98	NAN
Serviços de Energia Elétrica Pré Paga	50-150	UBR - 25 amostras por medidor pré pago por mês	< 30s	>98	NAN
Resposta à Demanda - Controle de Carga Direta da utilitie ao cliente (Aplicação Inteligente , Veiculo Elétrico , etc...	100	UBR - Um por device por requisição	< 1 min	>99,5	NAN
Automação da distribuição - Sistema de distribuição monitoramento e dados de manutenção de campo	100-1000	UBR - Amostras variadas por aplicação	< 5s	>99,5	NAN/WAN
Automação da Distribuição - Controle VOLT/VAR	150-250	UBR - Amostras variadas por aplicação	< 5s	>99,5	NAN/WAN
Automação da Distribuição - Resposta à Demanda do sistema de distribuição	150-250	UBR - Amostras variadas por aplicação	< 4s	>99,5	NAN/WAN
Automação da Distribuição - Detecção de Faltas	25	UBR - Uma amostra por device por evento	< 5s	>99,5	NAN/WAN
Gestão de Interrupção e Restauração	25	UBR - Uma amostra por medida de perda de potencia ou retorno	< 20s	>98	NAN/WAN
Sistema de Armazenamento de Energia do Cliente	25	UBR - 2 a 6 por periodo de despacho por dia	< 5s	>99,5	NAN/WAN
Veiculo Elétrico	100-255	UBR - 2 a 4 por Veiculo por dia	<15s	>98	NAN/WAN
Upgrade de FW de devices de rede inteligente	25k-2000k	UBR- 1 por device por evento de broadcast	<2min	>99	NAN/WAN
Mensagens a Clientes e administração de rede inteligente	25-200	UBR - quando necessário	<20s	>98	NAN/WAN

FIGURA 1 – Requisitos de rede para serviços de Redes Elétricas Inteligentes- Adaptado de Kuzlu [1]

Com base em uma variedade de estudos já iniciados dentro do Programa Brasileiro de Redes Inteligentes (P&D-ANEEL), em melhores práticas de outros projetos internacionais, da ITU-T e IEEE este trabalho busca definir a arquitetura de comunicação e tecnologia de informação mais indicada para aplicação em ambientes de Redes Elétricas Inteligentes no meio rural. Como estudos de casos, será explorada uma região rural na área de concessão da distribuidora de energia elétrica RGE SUL.
Para tanto, são compiladas informações sobre os diferentes requisitos de rede de comunicação para rede inteligente e diferente aplicações, que vão desde as utilizadas em medidores e serviços a consumidores, definidas como Home Area Network (HAN). Além dos serviços de automação e controle da rede de distribuição, distribuído entre Neighborhood Area Network (NAN) e Wide-Area Network (WAN).

2.0 - MODELO DE ARQUITETURA PARA COMUNICAÇÃO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Para a definição de arquitetura e topologia de comunicação para as redes elétricas inteligentes no meio rural, deve-se aproveitar as soluções corporativas e infraestruturas existentes nas concessionárias de energia elétrica juntamente com as soluções de mercado (Celular ou Fixa/MPLS).
O modelo de arquitetura adotado foi um sistema multi-layer ilustrado na figura 2.

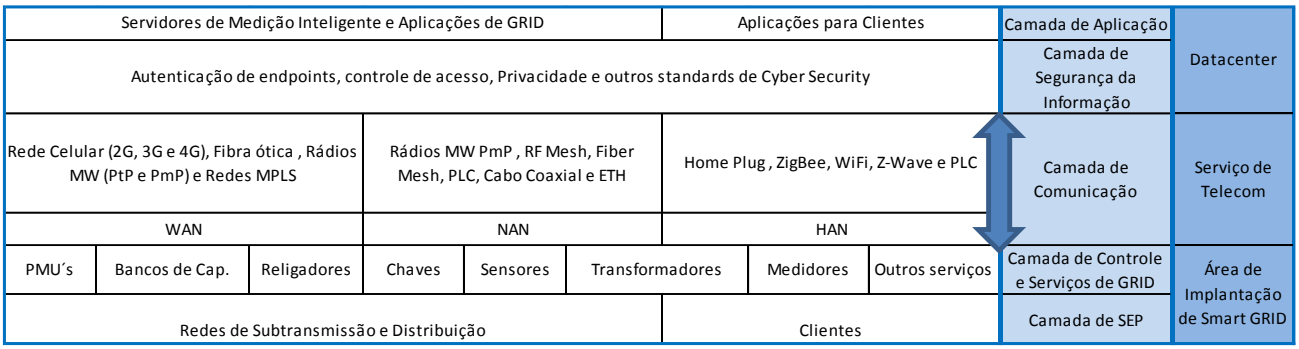

FIGURA 2 – Arquitetura de sistema multi-layer – Adaptado de Kuzlu [1]

2.1 Visão Geral de Comunicação de Fio para aplicações em REI

A comunicação sem fio deve ser o padrão adotado, principalmente em NAN, na conexão da rede *backhaul* (WAN) a rede doméstica (HAN). No entanto, diferentemente da comunicação com fio, a comunicação sem fio é geralmente um pouco menos confiável e propensa a mais interferência. Assim, o design do link sem fio e a rede sem fio são geralmente mais difíceis. O projeto de um link de comunicação sem fio inclui diversas variáveis, tais como seleção de frequência e modulação, restrições de potência e *link budget*, características de propagação do sinal, um enorme conjunto de padrões de comunicação sem fio para escolher e assim por diante.

O projeto de comunicação sem fio pode usar diferentes porções do espectro eletromagnético, incluindo a rádio (10KHz-100MHz), micro-ondas (100MHz – 100GHz), infravermelha (100GHz – 400THz) e luz visível (400THz – 790THz). Quanto maior a frequência, quanto maior a largura de banda disponível e mais bits por segundo (bps) podem ser transmitidos de acordo com o teorema de Shannon. Este teorema, dada na equação (1), refere-se à quantidade de informação, (C, em bps), que pode ser transportada por um sinal, como uma onda eletromagnética, com o poder recebido (S, em Watts), o poder de ruído (N, em Watts) e a largura de banda disponível (B, em Hz) para o sistema de comunicação, sujeito a adição de ruído gaussiano branco (AWGN).

$$C = B \log (1+S/N) \tag{1}$$

Infravermelho (IR) e comunicação de luz visível (VLC) tem largura de banda maior e usam diodos emissores de luz (LED) e fotodetectores (PD) de modulação de intensidade e detecção direta (IM/DD) do sinal luminoso [3,4]. No entanto, a propagação do sinal em tais altas frequências é muito direcional e pode ser facilmente bloqueada por obstáculos e paredes, exigindo assim a linha de visão (LOS) para comunicação. Portanto, IR e VLC são mais adequados para comunicação interna de curto alcance. Ainda, ambos os tipos de comunicação têm sido padronizados pela Associação IrDA [5] e IEEE 802.15.7 [6,7], respectivamente.

Propagação do sinal é melhor para comunicação ao ar livre e de longo alcance na rádio e microondas. No entanto, microondas sofre muito mais absorção de água (chuva, por exemplo) acima de 6GHz e propagação de sinal é mais direcional. Assim, a estas partes do espectro, largura de banda está em um prêmio, principalmente para comunicação ao ar livre.

Para a comunicação de curto alcance, IEEE 802.11 (Wi-Fi) é uma opção interessante para aplicações que requerem alta taxa de transferência (por exemplo, streaming de vídeo). Ele pode operar também nas bandas ISM disponíveis em todo o mundo em 2.4GHz (IEEE 802.11b/g/n) e 5.8GHz (IEEE 802.11ac). No entanto, o IEEE 802.11 consome mais potência e energia do que outros padrões sem fio como Bluetooth baixa energia (BTLE) [8] e do IEEE 802.15.4 [9] as normas, que são direcionadas para aplicações de baixa taxa e baixa potência.

IEEE 802.15.4 é um padrão para baixa taxa (por exemplo, 250kbps em banda de 2,4 GHz) e baixa potência (< 100mW) para comunicação sem fio. Está disponível em todo o mundo em 2.4 GHz e várias outras bandas com disponibilidade dependendo do país/região de operação [9]. Também foi adotada por outros aplicativos e padrões de rede, como o ZigBee [10] e 6LoWPAN [11]. Por outro lado, o padrão de BLTE tem características de desempenho similares de IEEE 802.15.4, tais como de baixa potência (< 100mW) e baixa taxa (< 1Mbps), mas opera exclusivamente na banda de 2,4 GHz. Ele é promovido pelo Grupo de interesses especiais em Bluetooth e é amplamente utilizado em smartphones e tablets. No entanto, ambos IEEE 802.15.4 e BLTE são projetados para comunicação de curto alcance (< 1km), e assim, eles não são direcionados para aplicações que requerem comunicações de longo alcance.

Longo alcance é geralmente necessária em comunicações sem fio ao ar livre. Em tais casos, frequências mais baixas são preferíveis devido à menor perda de caminho (PL), que é a atenuação da potência de sinal entre o transmissor (Tx) e o receptor (Rx), medidos em decibéis (dB), em um determinado canal de comunicação sem fio.

A perda de caminho de espaço livre (FSPL), que não leva em conta os obstáculos e reflexões e depende exclusivamente da frequência (f em GHz) e (d, em km) de distância, é dada por (2) em dB.

$$Lp = 92.45 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (2)$$

Em uma grande distância, um modelo mais realista é o modelo de dois raios de reflexão a terra (*two-ray ground reflection*), que contabiliza também a reflexão do sinal na terra. Neste modelo, considera-se a componente refletida e o componente de onda de LOS direto. Neste caso, a perda do caminho também depende do ganho (G) e as alturas (ht, hr) das antenas de transmissão e recepção e é dada pela equação (3) que é válida somente para grandes d (i.e. $d \gg \sqrt{(hr \times ht)}$).

$$Lp = 40\log_{10}(d) - 10\log_{10}(Ght^2hr^2) \quad (3)$$

Na verdade, as alturas das antenas não apenas influenciam a perda de caminho, mas também limitam a distância máxima de linha de visada (LOS), que é dependente a curvatura da terra. Nesse sentido, a distância máxima de LOS, em metros, é dada pela equação (4), onde R é o raio da terra e é igual a 6365 km. Por exemplo, considerar antenas colocado à altura de 1m acima do solo, o máximo LOS é 7136 m.

$$LOSmax = \sqrt{(2 \times ht \times R)} + \sqrt{(2 \times hr \times R)} \quad (4)$$

Na prática, no entanto, mesmo se a distância for inferior a LOS máxima, a comunicação não será possível se a potência do sinal recebido for muito baixa, tal qual não pode ser distinguida do ruído presente no receptor. Esta relação é conhecida como relação sinal-ruído (SNR). Portanto, para um determinado valor taxa de modulação e comunicação (bitrate R), há um SNR mínimo exigido pelo receptor a fim de alcançar uma taxa de erro de bits desejado (BER) ou taxa de erro de pacote (PER). Existe um valor mínimo necessário de SNR e é normalmente definido em termos da sensibilidade do receptor, que é o nível de potência absoluta de entrada necessário para não exceder 1% BER ou PER no receptor. Assim, a sensibilidade do receptor, que é especificada no datasheet dele, é o nível de potência de entrada que dá o SNR mínimo exigido para o link de comunicação sem fio.

A concepção de uma comunicação confiável deve ser feita para assegurar que o poder recebido (poder de Rx) é pelo menos igual a sensibilidade do receptor (Rx sens) mais uma margem de segurança (conhecido como margem de ligação), de acordo com a equação (5). A margem de ligação deve ser escolhida para receberam bastante energia mesmo em caso de atenuação de sinal devido a propagação de mobilidade e vários caminhos, o que é conhecida como desvanecimento e é o resultado da interferência destrutiva entre as ondas que viajam através de caminhos diferentes e alcançar o receptor com atrasos diferentes. Como uma regra-de-ouro, margem de ligação, também conhecido como margem de desvanecimento, normalmente é definida como 10dB de 30dB, dependendo a confiabilidade do link desejado.

$$\text{Rx power (dBm)} = \text{Rx sens (dBm)} + \text{Link margin (dB)} \quad (5)$$

O poder recebido pode ser determinado tendo em conta a potência de transmissão (Potência Tx) e mais os ganhos e perdas através da ligação sem fios, de acordo com a equação (6). Então, combinando (5) e (6), colocando nos ganhos (Gr, Gt) do receptor e as antenas do transmissor, a perda de caminho (em dB) e reorganizando os termos, um obtém a equação (7), que é o "orçamento de energia de conexão" ou "orçamento de link" equação. Portanto, o orçamento de conexão, dado em (8), é o máximo permitido a quantidade de energia que pode ser perdida através da ligação sem fios devido à perda de caminho e desvanecendo-se, e ainda manter a comunicação link funcionando. Equação (8) também pode ser escrita como (9), onde o termo EIRP (dBm) é conhecido como a potência radiada isotrópica efetiva.

$$\text{Rx power (dBm)} = \text{Tx power (dBm)} + \text{gains (dB)} - \text{losses (dB)} \quad (6)$$

$$\text{Path loss(dB)} + \text{Link margin(dB)} = \text{Tx power(dBm)} + \text{Gt(dB)} + \text{Gr(dB)} - \text{Rx sens(dBm)} \quad (7)$$

$$\text{Link budget (dB)} = \text{Tx power (dBm)} + \text{Gt (dB)} + \text{Gr (dB)} - \text{Rx sens (dBm)} \quad (8)$$

$$\text{Link budget (dB)} = \text{EIRP (dBm)} + \text{Gr (dB)} - \text{Rx sens (dBm)} \quad (9)$$

Para sistemas sem fio operando nas faixas de ISM não licenciadas, o EIRP é limitada pelas agências reguladoras locais, tais como o Comité de Comissão Federal (FCC) dos EUA, o Instituto Europeu de normalização das telecomunicações (ETSI) na Europa, a Associação das indústrias de rádio e negócios (ARIB) no Japão e a Agência Nacional de telecomunicações (ANATEL) no Brasil.

Observe que a limitação imposta para o EIRP é muito importante na concepção de um link de comunicação de longo alcance. Se o link é bidirecional e a mesma antena é usada para transmissão e recepção, o orçamento máximo atingível link será determinado basicamente pela sensibilidade do receptor, como pode ser notado de (9). Portanto, a seleção do receptor com sensibilidade suficiente é um passo crucial na concepção de um sistema de comunicação sem fio de longo alcance.

Basicamente, existem duas abordagens principais para alcançar a comunicação de longo alcance: ultra banda

estreita (UNB) rádio-frequência (RF) e wideband spread spectrum (SS). Ambas as abordagens visam aumentar a sensibilidade do receptor à custa da redução da taxa de dados eficaz. Ultra banda estreita que RF é uma técnica para comunicação sem fio, onde a largura de banda utilizada é muito pequena em comparação com frequência portadora (i.e. $\Delta f/f \ll 1$). Portanto, o sinal de energia está concentrado em banda estreita e o ruído térmico é reduzido, em última análise, melhorar o SNR.

Pode-se notar a redução de ruído térmico devido à redução da largura de banda da equação (10), que mostra que aquele ruído térmico (N) é proporcional a largura de banda B e a temperatura T. Em (10), o k constante de proporcionalidade é a constante de Boltzmann e igual a 1.38×10^{-23} J/K. Portanto, na temperatura ambiente (T = 290K), o poder de ruído em dBm pode ser calculado por (11). Por exemplo, em um sistema de comunicação operando com uma largura de banda de 10kHz, o piso de ruído é-134 dBm.

$$N = k \times T \times B \tag{10}$$

$$N(dBm) = -174 + 10 \log_{10}(B) \tag{11}$$

A melhoria do SNR devido a UNB resulta na melhoria da sensibilidade do receptor e permite assim para orçamentos mais elevados de ligação e intervalos mais longos. No entanto, a taxa de transferência também é reduzida, tornando a UNB adequado somente para baixa potência e baixa taxa redes, tais como a baixa potência redes de área ampla (LPWAN) [12] e baixa Troughput redes (LTN) [13]. Por exemplo, Sigfox [14], que é um provedor LWPAN/LTN operando em faixas não licenciadas (915MHz nos EUA e 868MHz na Europa), emprega comunicação UNB com uma largura de banda muito pequena de 100 Hz e uma taxa de 100 bps. Com uma largura de banda tão baixa, o espectro é utilizado com eficiência e o poder de ruído é muito baixo (cerca de-150 dBm em 290 K), permitindo que um receptor demodulador um sinal de energia extremamente baixo de dBm-142 [15]. [12], é relatado que um link de teste UNB de 25km foi implantado com sucesso com uma potência de transmissão de 14dBm e um SNR superior a 20dB.

Outra alternativa para aumentar a sensibilidade do receptor é através do uso de alguns espalhar a técnica do espectro. Em tal técnica, é a largura de banda usada para transmitir sinais maiores do que o mínimo exigido, conhecido como fator de espalhamento, fator de repetição ou ganho de processamento. O efeito do fator de espalhamento é a redução da eficiência espectral, qual é a relação entre a taxa de bits R e a largura de banda B, mantendo-a constante de largura de banda B [16]. Em última análise, isso reduz o mínimo exigido SNR, diminuindo assim a sensibilidade do receptor, de acordo com a equação (12), onde o SNR necessário sem a técnica de espalhamento e o SNR necessário com o uso do fator de espalhamento [17].

$$SNR_{\beta}(dB) = SNR_{min}(dB) - 10\log_{10}(\beta) \tag{12}$$

A técnica de espalhamento é usada pela modulação de LoRa, que é promovida pela Aliança LoRa para implantações de LPWAN com base na especificação de LoRaWAN [18,19]. LoRa é baseado na modulação Chirp Spread Spectrum (CSS), que usa pulsos de frequência linear modulado wideband cuja frequência varia linearmente ao longo do tempo para codificar informações [20,21]. LoRaWAN foi projetado para operar em várias bandas isentas de licença, incluindo banda 868 MHz na Europa e 915 MHz banda em nós, com largura de banda configurável entre 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz e fator de espalhamento configurável entre 7 a 12. De acordo com o fator de espalhamento escolhido (SF), o intervalo de taxas de dados de 336 bps para 48 kbps [22], tal como calculado pela equação (13), onde B é a largura de banda e R é a taxa de dados.

$$R = B/2^{SF} \times SF \tag{13}$$

LoRa pode oferecer um receptor com sensibilidade inferior-130 dBm, permitindo ligações de comunicação de longo alcance [21]. Em [20], foi relatado que agindo LoRa links funcionam na banda 868MHz com varia até 15km sobre o solo e a 30km sobre a água, quando usando o maior fator de espalhamento (SF = 12) e o máximo permitido de potência de transmissão (14dBm), com a conjunto de 125kHz de largura de banda. No entanto, para atingir esses intervalos de tempo, a taxa de bits foi reduzida para apenas 293 bps, assim mostrando uma compensação clara entre a taxa de gama e dados no projeto de um link de comunicação sem fio. A tabela 1 mostra as taxas de dados realizáveis, intervalo esperado e tempo no ar para LoRa de acordo com o fator de espalhamento.

Tabela 1 – Taxas de dados, o tempo no ar e escala prevista (dependendo das condições de propagação) para LoRa, de acordo com o fator de espalhamento. Largura de banda definido como 125 kHz com codificação taxa 4/5 e 1%.

Spreading factor (at 125 kHz)	Bitrate (bps)	Expected Range (km)	Time on Air (ms) (for 10 bytes payload)
SF7	5470	2	56
SF8	3125	4	100
SF9	1760	6	200
SF10	980	8	370
SF11	440	11	700
SF12	290	14	1400

2.2 Arquitetura Definida e Padrão de Acesso

Foi definida qual seria a área NAN e HAN e parte da WAN que o estudo de melhoria de cobertura deveria ser realizado, utilizando parceria comercial ou implantação de rede própria para o acesso. Foram utilizados targets de custo de implantação com a rede celular (M2M-Machine-to-Machine) como referência de custo mais baixo e a rede satélite de baixa órbita (BGAN) como referência de custo mais alto de contratação na análise dos custos por endpoint.

No mercado para atendimento de varejo percebemos que redes mesh ou tecnologia LPWA seriam as mais adequadas para o alto volume de endpoints de medição de demais serviços de Internet das Coisas (IoT) com custos até dez vezes menores que os custos praticados utilizando a rede celular, nosso target inicial mais baixo.

Podemos também aproveitar a infraestrutura dos clientes através da implantação de redes inteligentes seguras (Inteligent WAN ou IWAN), que através da instalação de um firewall conectado ao datacenter poderá prover conectividade de elementos de Automação Residencial, Comercial e Medição.

Na figura 3 podemos observar como todas as possibilidades de redes e serviços poderiam coexistir num projeto replicável de comunicação para redes inteligentes, contando que o datacenter possa estar em qualquer localidade.

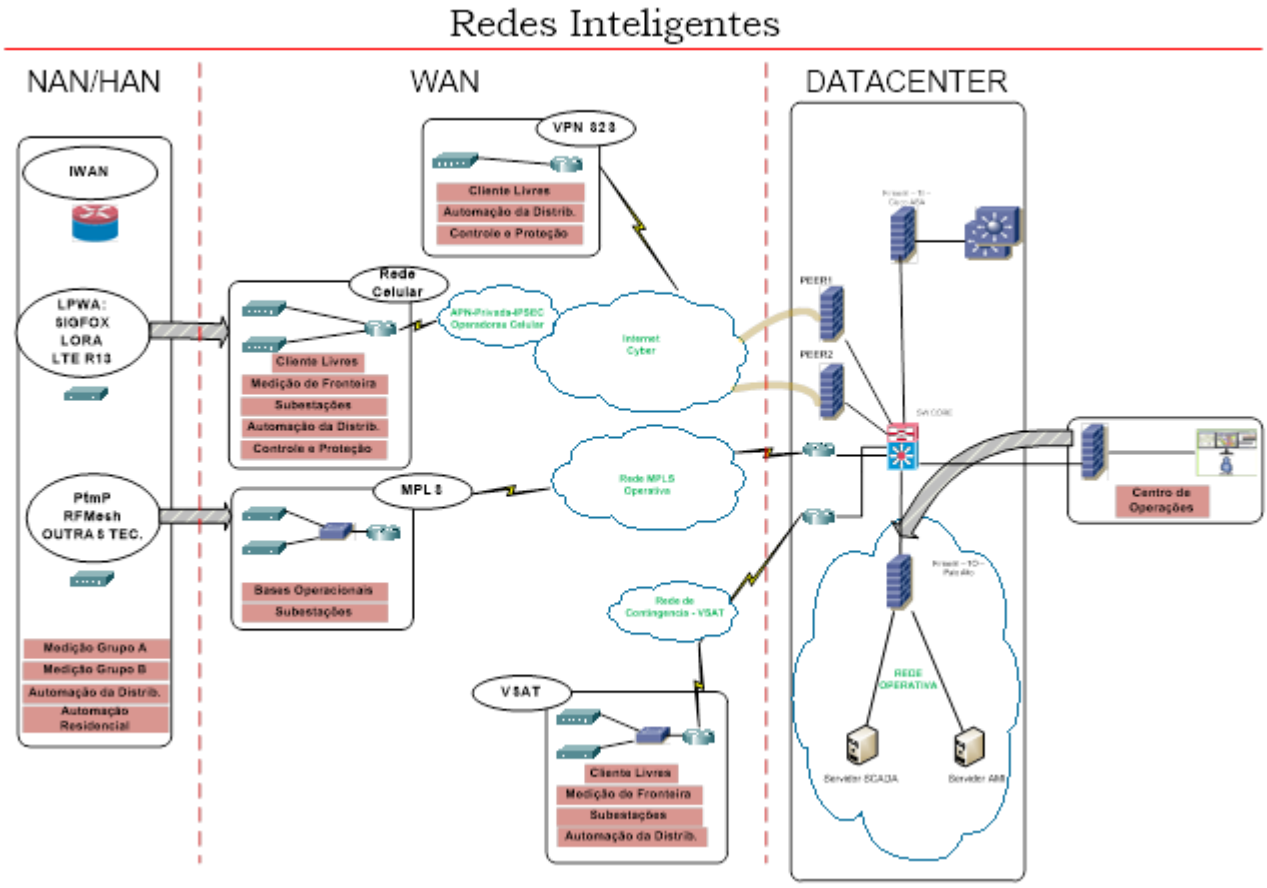

FIGURA 3 – Arquitetura de Rede Inteligente Rural

Na figura 3 podemos observar como todas as possibilidades de redes e serviços poderiam coexistir num projeto replicável de comunicação para redes inteligentes, contando que o datacenter possa estar em qualquer localidade.

Já na comparação entre a tecnologia de RF para acesso proposta e a tecnologia hoje adotada pela maioria das empresas para comunicação de Redes Elétricas Inteligentes (basicamente em área urbana), a rede Mesh, optamos por aprofundar o investimento no acesso via LPWA, especificamente o protocolo LoRA. Podemos verificar o comparativo entre LoRA e Mesh na figura 4 abaixo.

RF Mesh x LoRaWAN		
	RF Mesh	**LoRaWAN**
Topology	Mesh	Star
Maximum Data Rate per Terminal	10-100 kbps	50 kbps
Average Latency	700 ms per hop (recommended up to 3 hops)	1 s
Maximum Aggregation per Concentrator	10,000 terminals	15,000 terminals
Outdoor RF Concentrator Average Cost per Terminal	US$ 0,50	US$ 0,07
Technology Maturity Level	S.G: Established IoT: In development	In positioning
Mobility of Endpoints	Possible with restrictions	Possible

FIGURA 4 – Comparativo Mesh x LoRA [23]

3.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos aplicações no meio rural para Redes Elétricas Inteligentes, que requerem de alguma maneira comunicação sem fio. Em seguida, revimos os fundamentos da comunicação sem fio e apresentamos várias tecnologias de comunicação sem fio para aplicações e casos diferentes. Finalmente, mostramos um exemplo de projeto de uma rede de comunicação sem fio baseado em Lora, uma das mais recentes tecnologias sem fio disponível para comunicação de longo alcance, dentre as opções de comunicação de longo alcance e baixa potência consumida (LPWA). Os resultados obtidos nos permitem mostrar a compensação existente entre taxa de gama e dados enfrentada pelo designer de uma rede sem fio. Embora seja possível comunicação de longo alcance, a taxa de dados é severamente reduzida. Portanto, aplicações de Redes Inteligentes que requerem comunicações de longo alcance devem ser capazes de trabalhar corretamente com taxas de dados baixas (por exemplo, usando algoritmos de compressão) e continuar trabalhando, mesmo que temporariamente, a desconexão de rede devido a atenuação de sinal (por exemplo, usando comunicação oportunista [25]).

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] KUZLU, M. ; PIPATTANASOMPORN, M.; RAHMAN, S.., "Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN", 2014.

[2] BRANQUINHO, M., TI SAFE., " Painel Evolução: Segurança Cibernética para Empresas de Serviços Públicos de Missão Crítica" UTCAL SUMMIT, 2016.

[3] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, Feb 1997. doi: 10.1109/5.554222

[4] M. S. A. Mossaad, S. Hranilovic and L. Lampe, "Visible Light Communications Using OFDM and Multiple LEDs," in IEEE Transactions on Communications, vol. 63, no. 11, pp. 4304-4313, Nov. 2015. doi: 10.1109/TCOMM.2015.2469285

[5] Irda Association. Available at irda.org.

[6] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light," in IEEE Std 802.15.7-2011 , vol., no., pp.1-309, Sept. 6 2011 doi: 10.1109/IEEESTD.2011.6016195. Available at standards.ieee.org/getieee802.

[7] S. Rajagopal, R. D. Roberts and S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," in IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, pp. 72-82, March 2012. doi: 10.1109/MCOM.2012.6163585

[8] Gomez, Carles, Joaquim Oller, and Josep Paradells. "Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology." Sensors 12.9 (2012): 11734-11753.

[9] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks," in IEEE Std 802.15.4-2015 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2011), pp.1-709, April 22 2016. doi: 10.1109/IEEESTD.2016.7460875

[10] ZigBee Specification Version 3.0, December. 2016, [online] Available: http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee/

[11] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, D. Culler, Transmission of IPv6 Packets Over IEEE 802.15.4 Networks, Sep. 2007, [online] Available: http://www.ietf.org/rfc/rfc4944.txt.

[12] K. E. Nolan, W. Guibene and M. Y. Kelly, "An evaluation of low power wide area network technologies for the Internet of Things," 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Paphos, 2016, pp. 439-444. doi: 10.1109/IWCMC.2016.7577098

[13] G. Margelis, R. Piechocki, D. Kaleshi and P. Thomas, "Low Throughput Networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations," 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan, 2015, pp. 181-186. doi: 10.1109/WF-IoT.2015.7389049

[14] "About SIGFOX", SigFox, [online] Available: http://www.sigfox.com/en/#!/about.

[15] Do, Minh-Tien and Goursaud, Claire and Gorce, Jean-Marie, Interference Modelling and Analysis of Random FDMA schemes in Ultra Narrowband Networks, The Tenth Advanced International Conference on Telecommunications, AICT 2014, pp. 132–137.

[16] Yoann Roth, Jean-Baptiste Doré, Laurent Ros, Vincent Berg, Turbo-FSK, a physical layer for low-power wide-area networks: Analysis and optimization, Comptes Rendus Physique, Available online 13 December 2016, ISSN 1631-0705, http://dx.doi.org/10.1016/j.crhy.2016.11.005.

[17] Y. Roth, J. B. Doré, L. Ros and V. Berg, "Turbo-FSK: A new uplink scheme for low power wide area networks," 2015 IEEE 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Stockholm, 2015, pp. 81-85. doi: 10.1109/SPAWC.2015.7227004

[18] LoRa Alliance, www.lora-alliance.org

[19] LoRa Alliance, “LoRa Specification V1.0.2,” Tech. Rep., July 2016.

[20] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen and M. Pettissalo, "On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, 2015, pp. 55-59. doi: 10.1109/ITST.2015.7377400

[21] Augustin, Aloÿs, et al. "A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things." Sensors 16.9 (2016): 1466.

[22] B. Reynders, W. Meert and S. Pollin, "Range and coexistence analysis of long range unlicensed communication," 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT), Thessaloniki, 2016, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICT.2016.7500415/
[23] Schroder Filho, H. G. 1, 2; Pissolato Filho, J. 1; Moreli, V. L – UNICAMP/CPFL
[24] SILVA, F. E. S. E. ; PORTO, D. ; BARRIQUELLO, C.H. ; BERNARDON, D. P. ; FAGUNDES, D. R. . Arquitetura de tráfego de dados para redes elétricas inteligentes em áreas rurais. In: X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2016, Gramado-RS. X CBPE, 2016.
[25] S. João. 2010. princípios de design para comunicação oportunista robusto. No processo do 4º Workshop ACM em sistemas em rede para o desenvolvimento de regiões (NSDR. 10). ACM, New York, NY, EUA, artigo 6. º, 6 páginas. DOI = http://dx.doi.org/10.1145/1836001.1836007

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Flavio Eduardo Soares e Silva nasceu em Pirassununga, Brasil, em 08 de dezembro de 1980. Possui graduação (2012) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Mestrando em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É engenheiro na RGE Sul Distribuidora de Energia, empresa do grupo CPFL Energia. Suas áreas de interesse: redes elétricas inteligentes, redes de telecomunicações, planejamento e projeto de redes de comunicação sem fio. Também atuou por mais de dez anos como consultor e projetista de redes de transporte de telefonia móvel, trabalhando nas operadoras de telefonia Celular Claro, TIM e Vivo e fornecedores de equipamentos e softwares: Ericsson, Nokia Siemens Networks, Siae Microeletronica e Aircom.

Daniel Pinheiro Bernardon nasceu em Santa Maria, Brasil, em 15 de setembro de 1977. Possui graduação (2000), mestrado (2004) e doutorado (2007) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É professor da Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência. Suas áreas de interesse: redes elétricas inteligentes, modelagem e otimização de sistemas, operação e planejamento de redes de distribuição. Também atuou dez anos no setor elétrico, trabalhando nas concessionárias de energia elétrica RGE e AES Sul.

Carlos Henrique Barriquello. Possui graduação (2007), mestrado (2009) e doutorado (2012) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). É professor adjunto nível 3 lotado no Departamento de Eletrônica e Computação da Universidade Federal de Santa Maria desde 2012, atuando nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Computação. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica/Computação, com interesse principalmente nos seguintes temas: Sistemas Embarcados, Sistema de Tempo Real, Redes de Comunicação de Dados, Redes de Sensores Sem Fio, Sistemas de Iluminação, Inteligência em Iluminação.

Luciane Neves Canha é pesquisadora pq-1d do cnpq e professora associada 3 da universidade federal de santa maria. É doutora em engenharia elétrica pela universidade federal de santa maria (2004). Concluiu o mestrado em engenharia elétrica pela universidade federal de santa maria em 1996. Graduou-se em engenharia elétrica pela universidade federal de santa maria em 1994. Orienta pesquisas de doutorado, mestrado, iniciação científica, trabalhos de conclusão e estágios na área de engenharia elétrica. Em 2006- 2007 e 2016 foi incluída na publicação whos who in science and engineering. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em sistemas elétricos de potência, fontes renováveis de energia, redes elétricas inteligentes e geração distribuída. Em seu currículo lattes os termos mais freqüentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: geração distribuída, distribuição de energia elétrica, redes elétricas inteligentes, smart grid, fontes alternativas de energia, gerenciamento pelo lado da demanda, análise multicriterial, lógica fuzzy, planejamento e otimização de sistemas de distribuição de energia elétrica, uso racional da energia elétrica e eficientização.

Daniel Sperb Porto nasceu em Porto Alegre, Brasil, em 03 de novembro de 1977. Possui graduação (2005) em engenharia elétrica e mestrado (2013) em ciências contábeis. Doutorando em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É engenheiro na RGE Sul Distribuidora de Energia, empresa do grupo CPFL Energia. Suas áreas de interesse: redes elétricas inteligentes, medição, operação e planejamento de redes de distribuição. Atua a dezenove anos no setor elétrico, trabalhando em diversas áreas nas concessionárias de energia elétrica AES Sul e RGE Sul.

Maicon Jaderson Silveira Ramos nasceu em Esteio, Brasil, em 15 de julho de 1983. Possui graduação (2011) em engenharia elétrica pela Universidade do Vale do Rio do Sinos, mestrado (2014) em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. É doutorando em engenharia elétrica na Universidade Federal de Santa Maria, e Engenheiro de Operação do Sistema na RGE Sul Distribuidora de Energia. Suas áreas de interesse: sistema de proteção, modelagem e otimização de sistemas, operação e planejamento de redes de distribuição. Atua no setor elétrico desde 2004.