

PROPOSTA DE UMA ARQUITETURA HÍBRIDA DE COMUNICAÇÃO LAST MILE PARA SMART GRIDS EM AMBIENTES RURAIS

ALAN P. PINHEIRO, LIZANDRA N. OLIVEIRA, AFONSO J. P. SOARES

*CeP&DRI, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Av. João Naves de Ávila, 2121, bloco 3N, Uberlândia, Minas Gerais, 38400-902*

E-mails: alanpetronio@ufu.br, lizandra@ufu.br, afonso.pujoni@ufu.br

Abstract— This article presents the proposal of a hybrid last mile communication model for smart grids in rural environments using an RF mesh network with IPv6 protocol. The project emerges as a solution for remote telemetry of customers by energy utilities. Real data from rural customers that are not covered by any telecommunication network are analyzed in order to verify the potential of implementation of the proposed architecture. The goal is to reach as many non-telemetered customers as possible. The results show that the clustering of NAN microgrids facilitates the regionalization of the network and the use of ordinary radios for this type of application where only commercially satellite links could solve such lack of communication.

Keywords— smart grids, telemetry, RF mesh, clustering, LoRa, internet of things.

Resumo— Este artigo apresenta a proposta de um modelo híbrido de comunicação last mile para smart grids em ambientes rurais combinando a arquiteturas RF mesh e M2M com o protocolo IPv6. Tal ideia de projeto, verificada por simulação neste trabalho, surge como solução para monitoramento remoto de clientes por parte das concessionárias de energia para telemetria. Tal aplicação é muito importante para se monitorar perdas não-técnicas. Dessa forma, dados reais de clientes rurais que não são cobertos por nenhuma rede de telecomunicação são analisados de modo a verificar o potencial de implementação da arquitetura proposta. O objetivo é alcançar a maior parte possível de clientes que atualmente não são telemetridos por falta de estrutura de comunicação viável. Os resultados mostram que o agrupamento de clientes mini-redes NAN facilita a regionalização da rede e o emprego de rádios financeiramente viáveis para este tipo de aplicação onde comercialmente só enlaces de satélite poderiam resolver tal carência de comunicação.

Palavras-chave— smart grids, telemetria, RF mesh, M2M, agrupamento, LoRa, internet das coisas.

1 - Introdução

As universidades, empresas e indústrias que desenvolvem ou trabalham com tecnologias de ponta tem vivido um momento desafiador. A maneira com que tecnologias como inteligência artificial (Müller et al, 2016), computação cognitiva (Chozas et al, 2017), internet das coisas (Misra e Gourav, 2017), *big data* (Chen et al, 2014), e tantas outras atreladas a estas, devem impactar a vida e as relações humanas profundamente.

Dentro do universo de possibilidades proporcionado por tantas tecnologias interessantes e com grande potencial de inovação estão as *smart grids*. As redes inteligentes de energia são caracterizadas pela interligação de dados entre os diversos elementos que constituem a rede elétrica conforme ilustra a Fig. 1. Serviços de medição, controle e operação remota da rede de energia são muito comuns neste novo modelo cujo um dos objetivos primários é oferecer um serviço de maior confiabilidade e que possibilite o uso de fontes de energia alternativas, cuja inserção é feita diretamente em pontos distribuídos da rede (Giacomoni et al, 2016).

A expectativa é que o desenvolvimento desta tecnologia agregue ao sistema capacidade de autocorreção, resistência a ataques, alta qualidade de energia, assegurar as necessidades de suficiência, gestão eficiente, atualização com a evolução das novas téc-

nicas de armazenamento de energia (Pipattanasomporn et al, 2009), além da integração em caráter bidirecional entre o fluxo de dados e de energia (Chun e Ansari, 2013).

Tais características só são possíveis graças a uma junção de inúmeras tecnologias que foram desenvolvidas e resultaram na Infraestrutura de Medição Avançada (*advanced metering infrastructure* - AMI). A utilização da AMI na rede de energia possibilita que consumidores e operadores do sistema estejam conectados de maneira inteligente, garantindo a tomada e execução de decisões hábeis.



Fig. 1. Esquemático de uma *smart grid*. Todos os segmentos de uma rede elétrica são interligados por dados.

A implementação desta infraestrutura de rede dentro dos grandes centros urbanos pode ser feita sem muitos traumas quando comparado aos desafios que se tem para a execução da mesma em regiões

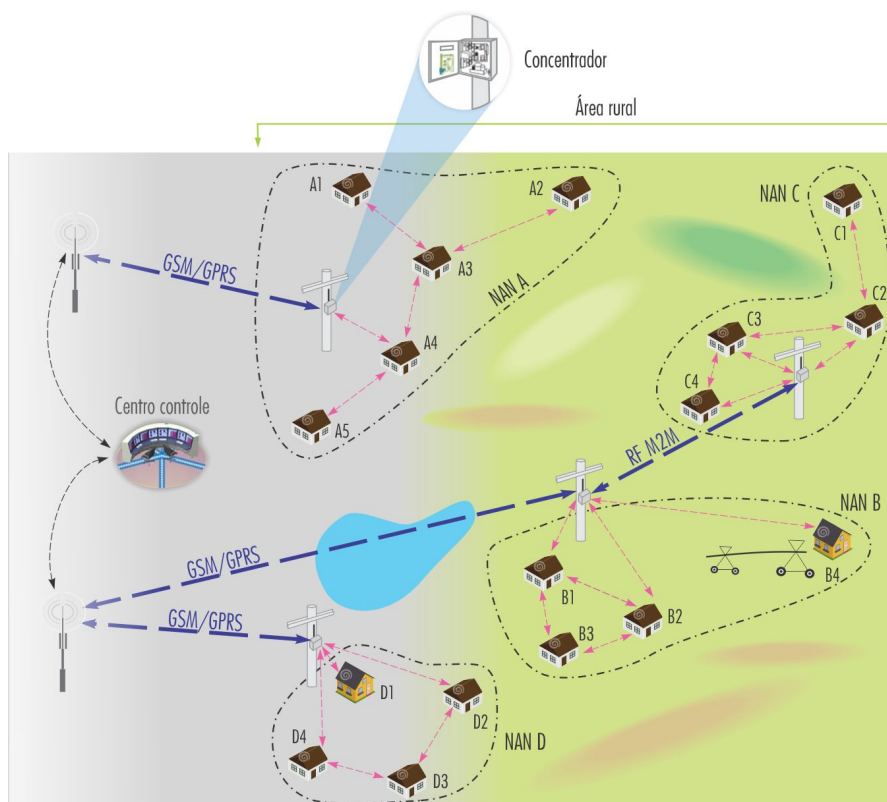


Fig. 2. Topologia de rede proposta. Mistura entre rede *mesh* e M2M.

rurais, especialmente se considerado o custo financeiro de implantação. O grande desafio para que isto seja feito é a constituição de uma infraestrutura de telecomunicação capaz de cobrir grandes áreas a custos razoáveis e, preferencialmente, por enlaces dedicados. Dessa forma, o grande desafio das concessionárias é encontrar uma arquitetura de rede de comunicação financeiramente viável e replicável. Qualidade de serviço e disponibilidade, dependendo do tipo de aplicação, nem sempre são alvo das maiores preocupações.

Ainda neste contexto, há um esforço de diversas concessionárias de energia no Brasil para implementar este tipo de infraestrutura a fim de se fazer o monitoramento do consumo de clientes localizados fora dos centros urbanos dado que muitos deles possuem um elevado consumo de energia (especialmente os clientes rurais do grupo A). Uma das muitas motivações que fomentam esta tecnologia é a possibilidade de acompanhar mais de perto o consumo de energia e detalhar com maior precisão como este consumo acontece. Isto é particularmente interessante para as concessionárias estimarem, por exemplo, as perdas não técnicas (PNT). Durante o processo de geração, transmissão e distribuição de energia existem perdas operacionais que são previamente estimadas pelas empresas. Já as PNT são aquelas que não se enquadram como perdas técnicas operacionais, o que inclui contas não pagas, roubo de eletricidade, medição imprecisa, entre outros (Han et al, 2016). Estima-se que mais 25 bilhões de dólares são perdidos por companhias de energia elétrica ao

redor do mundo todo ano devido às PNT (Depuru et al, 2011).

Enquanto as *smart grids* não são uma realidade consolidada no Brasil, há de se caminhar rumo a esta tecnologia. Neste sentido um dos maiores desafios tecnológicos para sua implementação é o desenvolvimento de uma rede de dados própria que permita telemedir os dados referentes ao consumo. Neste contexto este trabalho propõe uma arquitetura de rede inédita para monitoramento de consumidores que se localizam na zona rural do estado de Minas Gerais.

2 – Arquitetura proposta

A Fig. 2 apresenta o modelo de arquitetura proposto como solução para o problema descrito na seção anterior. O modelo é dividido em *clusters* denominados de *Neighborhood Area Network* (NAN), onde cada NAN tem suas próprias características como faixa de frequências específicas (ISM – *industrial, scientific and medical* ou SLP – serviço limitado privado). Todavia, todas elas têm em comum uma arquitetura local do tipo RF *mesh*, definida pela norma IEE 802.15.4/IP.

Observa-se na figura 2 que as NAN têm uma arquitetura *machine-to-machine* (M2M). Esta mistura de arquiteturas visa tentar conciliar o que cada uma delas tem de melhor: a simplicidade e robustez da M2M e o poder de alcance da *mesh*.

Outra característica da rede é que mesmo embora ela possa usar até mesmo diferentes tipos de rádios (ou frequências) em camada física para cada NAN, a pilha de protocolos (intermediários e superiores) se mantém tendo em vista a interoperabilidade da rede. Em especial esta arquitetura é baseada em uma pilha de protocolos em um modelo de referência similar ao ilustrado esquematicamente na Fig. 3. Nesta figura observa-se que o coração da pilha é o IP v6. Esta opção ajuda na interoperabilidade (já que se trata de um padrão bem difundido) e ao mesmo tempo provê ao sistema uma série de recursos de rede típicos da pilha TCP/IP como, por exemplo, controle de congestionamento. Por outro lado, a camada física pode variar. Embora a escolha principal seja por uma rede *mesh* padrão IEEE 802.15.4/IP, existe ainda a possibilidade de alguns usuários dentro de uma mesma NAN usar rádios mais potentes no padrão LoRa-WAN que emprega uma conexão M2M. Mesmo usando diferentes rádios, ou até mesmo espectros, o concentrador deve dar suporte a recepção destas tecnologias através da conexão de diferentes tipos de rádios em *slots* de seu *hardware*. Um microcontrolador central neste concentrador monta os pacotes recebidos pela camada física e padroniza-os obedecendo aos modelos de interoperabilidade sugeridos pela norma IEEE 2030.

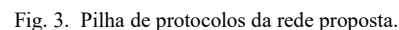


Figura 4. (a) Mapa de uma NAN do Google Earth. Foi considerando uma distância máxima, em visada direta, entre os rádios de comunicação de 5 km. (b) Mapa de outra NAN do Google Earth. Foi considerando uma distância máxima, em visada direta, entre os rádios de comunicação de 10 km operando em 915MHz.

3 - Resultados

Tomando por base a arquitetura de rede proposta baseada em *clusters* NAN's de topologia *mesh*, o objetivo do algoritmo construído foi encontrar agrupamentos que pudessem estabelecer comunicação entre si dentro de uma distância máxima de alcance determinada em visada direta. A interligação entre NAN's é feita por enlaces M2M. A Fig. 4a mostra no mapa um exemplo de rede NAN obtida para rádios de até 5 km de alcance neste cenário rural. Já a Fig. 4b mostra uma outra NAN obtida para a distância de 10 km. Estes resultados foram obtidos por simulação (usando Matlab e Google Earth) e consideraram rádios LoRa operando a 915MHz com potência de operação de 100mW e fator de espalhamento (*spreading factor*) de 12.

Do total de 1955 clientes (ou nós) analisados, foram obtidos 359 NANs considerando rádios com alcance de até 5km. O número de clientes presentes em cada um deles varia de 2 a 47. O gráfico apresentado na Fig. 5a mostra o total de *clusters* obtidos em função do número de nós existentes em cada um.

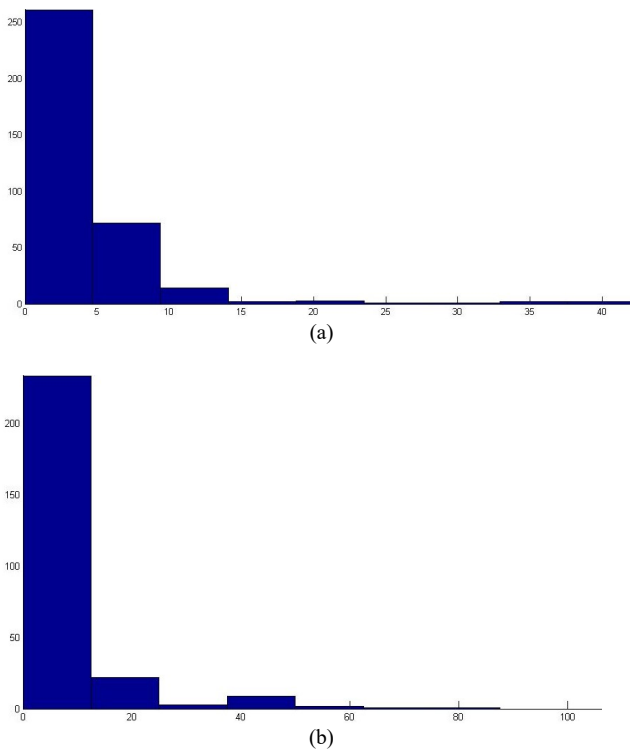


Figura 5. Quantidade de NANs por usuários considerando rádios de (a) 5km de alcance e (b) 10km de alcance. O eixo horizontal indica a quantidade de nós e o eixo vertical a quantidade de NANs.

Já para rádios com alcance de 10 km foram encontradas 272 NAN's. O número de clientes presentes em cada um deles varia de 2 a 125. Considerando um cenário de uso de rádios de alcance maior, os resultados são ligeiramente diferentes conforme revela a Fig. 5b. Observaram-se *clusters* com maior número de clientes. Em todos os casos a natureza da arquitetura foi preservada mudando-se apenas a potência dos rádios da rede RF *mesh* interna da NAN.

Em todos os cenários, foi possível monitorar mais de 1.500 nós dos 1.955 considerados.

4 - Discussões

Os resultados obtidos considerando rádios de 0,1W e 0,5W operando em ISM (915MHz) mostraram-se eficientes na medida em que permitem interligar por enlaces RF diversos clientes onde o custo de tarifação justifica os investimentos. Ainda, alguns rádios comerciais de 1w de potência em ISM conseguem alcance superiores a 30 km podendo aumentar ainda mais a quantidade de clientes envolvidos pela solução aqui proposta. O custo estimado para o modem de usuário final é de aproximadamente R\$ 200. Já o do concentrador, incluindo a unidade remota comercialmente disponível é de aproximadamente R\$ 3.000,00

Um ponto interessante do modelo aqui proposto é a substituição do convencional protocolo de roteamento RPL pelo OSLR. Este último tem como vantagem estabelecer como métrica a potência do sinal RF para designação de uma determinada rota na rede *mesh*. Este evita *loopings* desnecessários e até mesmo tabelas de rotas grandes que podem ser um empecilho para o sistema uma vez que ele é embarcado em processadores com poder computacional limitado.

Adicionalmente, o fato da rede não trabalhar exclusivamente com a arquitetura *mesh* decrementa a quantidade de pacotes de controle contendo atualizações para as tabelas de roteamento. Sabe-se que o aumento de nós gera um tráfego de mensagens de controle que decrementa o *throughput* efetivo da rede. Como os nós foram "setorizados", estas mensagens ficam restritas à NAN. E como as NANs dão vazão as mensagens utilizando uma arquitetura M2M simples, este problema é decrementado.

Embora o modelo proposto tenha sido originalmente pensando para um ambiente rural, onde os desafios de comunicação são virtualmente maiores se considerados os custos, ele pode ser facilmente empregado também para ambientes urbanos independente da densidade de usuários que forem inseridos na rede. Por exemplo, um gateway LoRa pode comportar até 6.000 conexões de nós.

Em cenários rurais, as adversidades são muitas fazendo com que o tempo de disponibilidade da rede possa ser baixa. Tempos de latência grandes também são comuns. Considerando um serviço de telemedicação, típico para *smart grids*, é importante que a camada de aplicação disponha de um protocolo adequado para tratar estes problemas minimizando os impactos da indisponibilidade da rede. Neste sentido, protocolos específicos como o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) ou AMQP (*Advanced message queuing protocol*) podem ser uma boa solução.

Quando comparado, por simulação, a outros modelos clássicos (com topologia estrela), a quantidade de consumidores alcançados pela rede local em am-

bos os cenários (rádios de 0,1 e 0,5w) é superior em 20%.

Outro ponto que merece destaque é a vasta cobertura da rede elétrica e seus postes que possibilitam que alguns pontos, especialmente os mais elevados, da área da NAN consigam receber um sinal GSM/LTE com SNR boa o suficiente para instalar o concentrador e ao mesmo tempo ter bom ângulo de visada. Ainda, a própria disponibilidade de comunicação do modem de usuário final avaliada por mensagens *request* podem servir como uma rede de sensores para identificar falta de energia em determinada área. Assim, por exemplo, se todos os modems de uma mesma área não respondem a comandos de requisição em um determinado período de tempo, isto pode ser um indício de falta de energia naquela área.

5 - Conclusão

Neste sentido, pode-se concluir pelos resultados preliminares aqui demonstrados por simulação que o modelo de arquitetura de comunicação aqui proposto que combina uma arquitetura local *mesh* por célula ou *cluster*, onde cada *cluster* tem um gateway que faz a transferência de carga útil por um enlace M2M se mostrou viável na medida em que foi capaz de cobrir áreas até então não cobertas por sinais de comunicação tipicamente usados para este tipo de aplicação como o GSM/LTE. Isto considerando aplicações de telemetria rural para *smart grids* tolerantes à latência. A quantidade de elementos abrigados por esta rede dá o indicativo de sua pertinência técnica e financeira para este cenário.

Agradecimentos

Os autores agradecem a STMicroelectronics por seu Programa Universitário, especialmente aos engenheiros José R. Freitas e Magno. Esta pesquisa faz parte do programa de P&D ANEEL em parceria com a CEB.

Referências Bibliográficas

- Müller, Vincent C., e Nick Bostrom. "Future progress in artificial intelligence: A survey of expert opinion." *Fundamental issues of artificial intelligence*. Springer International Publishing, 2016. 553-570.
- Chozas, Adrian Calvo, Suejb Memeti, e Sabri Pllana. "Using Cognitive Computing for Learning Parallel Programming: An IBM Watson Solution." *arXiv preprint arXiv:1704.01513* (2017).
- Misra, Gourav, et al. "Internet of things (iot)–a technological analysis and survey on vision, concepts, challenges, innovation directions, technologies, and applications (an upcoming or future generation computer communication system technology)." *American Journal of Electrical and Electronic Engineering* 4.1 (2016): 23-32.
- Chen, Min, Shiwen Mao, e Yunhao Liu. "Big data: A survey." *Mobile Networks and Applications* 19.2 (2014): 171-209.

- Giacomoni, Anthony M., S. Massoud Amin, e Bruce F. Wollenberg. "Reconfigurable interdependent infrastructure systems: Advances in distributed sensing, modeling, and control." *Proceedings of the 2011 American Control Conference*. IEEE, 2011.
- Pipattanasomporn, Manisa, Hassan Feroze, e S. Rahman. "Multi-agent systems in a distributed smart grid: Design and implementation." *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES*. IEEE, 2009.
- Lo, Chun-Hao, e Nirwan Ansari. "Decentralized controls and communications for autonomous distribution networks in smart grid." *IEEE transactions on smart grid* 4.1 (2013): 66-77.
- Han, Wenlin, e Yang Xiao. "A novel detector to detect colluded non-technical loss frauds in smart grid." *Computer Networks* (2016).
- Depuru, Soma Shekara Sreenadh Reddy, Lingfeng Wang, e Vijay Devabhaktuni. "Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft." *Energy Policy* 39.2 (2011): 1007-1015. PNT no Brasil.