



## **GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

### **INFRAESTRUTURA AVANÇADA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA EM UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA - ARQUITETURA E REQUISITOS DE REDE DE COMUNICAÇÃO WIRELESS**

**GABRIEL DE CASTRO ALMEIDA (1); LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE (2)  
CEMIG (1); FITEC (2)**

#### **RESUMO**

A digitalização presente nos mais diversos setores da sociedade já é realidade também no ambiente operativo das concessionárias de energia elétrica, de modo que os conceitos preconizados pelo *Smart Grid* já vêm se expandindo nas empresas do setor. O AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), nesse contexto, é a aplicação tecnológica mais moderna para que as distribuidoras de energia interajam com os medidores instalados nos clientes, a fim de oferecer novos serviços relacionados à telemetria. Esse trabalho apresenta um projeto AMI desenvolvido pela Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais), que pretende instalar 250 mil medidores inteligentes na região metropolitana de Belo Horizonte até 2022.

**PALAVRAS-CHAVE:** AMI, Mesh, LTE, Cemig

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

A modernização das concessionárias de energia passa pela adoção dos conceitos preconizados pelas Redes Inteligentes de Energia (*Smart Grids*). Dentre diversas características novas trazidas pela *Smart Grid* em comparação com o sistema "tradicional", destacam-se a melhoria da relação custo-benefício nos processos de produção e fornecimento de energia elétrica, a disponibilização de informações ao consumidor sobre o consumo individual de energia elétrica e o aumento dos níveis de confiabilidade dos serviços ofertados.

A Infraestrutura Avançada de Medição (*Advanced Metering Infrastructure - AMI*) - é a forma mais avançada para que as distribuidoras de energia interajam com os medidores de energia instalados nos seus clientes. Este é um sistema composto por medidores de energia elétrica com inteligência computacional embarcada e providos de porta de comunicação de dados. Tal sistema é suportado por uma infraestrutura de tecnologia da informação (telecomunicação, software e hardware), que permite tanto a aquisição de dados em intervalos de tempo pré-definidos como o envio de dados e comandos remotamente [1].

Do ponto de vista das Distribuidoras, a implantação de uma solução de AMI ajuda no combate às perdas não técnicas e na redução da inadimplência, já que se efetua a medição do consumo do cliente em tempo real, analisando as variações de consumo durante o dia, dificultando o furto de energia. Segundo o último relatório disponibilizado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em 2019, as perdas não técnicas no país representaram um custo de aproximadamente R\$ 6,6 bilhões [2]. Em relação à inadimplência, o AMI melhora o desempenho das operações de corte e religamento de unidades consumidoras.

Já pelo ponto de vista do cliente, a implantação do AMI traz uma possível redução das tarifas com a redução do furto e inadimplência (já que, em média, 3% do valor da tarifa de energia elétrica é destinado a compensar essas perdas, podendo chegar a mais de 21% dependendo da distribuidora). Outro benefício é a disponibilidade de informação relacionada ao seu consumo, permitindo que o cliente administre e gere sua demanda de acordo com sua necessidade e capacidade de pagamento [2].

Durante muitos anos, a principal forma de realizar a automação da medição era através da contratação de telefonia pública celular como solução de telecomunicações. No entanto, a utilização dessa infraestrutura gera um OPEX (*Operational Expenditure*) recorrente para a empresa tendo em vista o gasto mensal gerado por este tipo de solução. Além disso, do ponto de vista técnico, esse tipo de serviço não consegue entregar a confiabilidade e efetividade esperadas pelas *utilities* já que não possui um canal dedicado e com a qualidade de serviço requerida [3].

Haja vista a criticidade dos serviços que fazem parte do cotidiano das distribuidoras, bem como aspectos regulatórios que impõem melhoria dos índices de qualidade do produto e dos serviços, em especial o DEC -

Interrupção de Energia, e a necessidade de combate às perdas não técnicas, surge um movimento por parte das concessionárias para adoção de soluções próprias para automação da rede de distribuição e da medição [3].

Embora, em um primeiro momento, não seja possível substituir totalmente as soluções contratadas por soluções próprias, um mix otimizado entre essas duas soluções resultará em melhores resultados operacionais e econômico-financeiros para as *utilities* de energia elétrica, dada a demanda de serviços de missão crítica e o modelo regulatório em que estão inseridas [3].

Esse artigo apresenta a proposta de implantação de solução AMI na CEMIG. A seção 2 contextualiza a aplicação AMI nas empresas de energia brasileiras e ao redor do mundo. A seção 3 apresenta o projeto AMI desenvolvido pela CEMIG, abordando sua arquitetura geral, aspectos da rede (*Field Area Network*), Rede de Dados IP, Backbone, Backhaul, data Center e segurança da informação. A seção 4 apresenta alguns estudos de propagação elaborados no pré-projeto e, por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e o *roadmap* de implantação AMI em 250 mil consumidores na região metropolitana.

## 2.0 AMI nas Distribuidoras de Energia Brasileiras e no Mundo

Seguindo a tendência apresentada pela grande maioria das *distribuidoras de energia* brasileiras, a Cemig, no início dos anos 2000, tinha na utilização da rede pública celular como a principal solução de telecomunicações para aplicações de automação da medição. A automação de medição de grandes clientes da Cemig (Grupo A) contava, em 2017, com aproximadamente 14.000 pontos utilizando a tecnologia celular pública [3].

A primeira iniciativa da Cemig para uma solução de automação da medição começou em 2009, quando a empresa iniciou a implantação de prova de conceito da arquitetura *Smart Grid*. Denominado Cidades do Futuro, o projeto possuía, dentre outros objetivos, a implantação de tecnologias de telecomunicações, AMI, Automação de Redes de Distribuição (ADA), sites de geração de Geração de Energia Solar, desenvolvimento de Ferramentas Computacionais para Operação do Sistema Elétrico e pesquisas de campo e aplicativos dedicados ao engajamento do cliente [3]. No que se refere ao escopo de AMI, foram instalados cerca de 5.000 medidores inteligentes, sendo 3.800 conectados em rede *Mesh* e 1.200 em infraestrutura PLC (*Power Line Communication*).

A Enel SP, outra distribuidora de energia do sudeste brasileiro, desenvolveu uma infraestrutura avançada de medição na cidade de Barueri composta por medidores inteligentes, conjuntos de balanço de energia e infraestrutura de comunicação. Este projeto piloto instalou aproximadamente 20.000 medidores e apresentou uma solução híbrida de comunicação, composta por tecnologia RF e PLC em uma topologia *Mesh* sobre IP [4].

Outra iniciativa de projeto piloto de *Smart Grid* aconteceu na área metropolitana do Rio de Janeiro, desenvolvido pela LIGHT. O escopo do projeto envolveu implantação de AMI para cerca de 400.000 clientes, com função de Corte/Religa integrado, além de funções de automação da rede de distribuição. A solução de telecomunicações neste projeto contou com um mix de soluções baseada em RF *Mesh*, PLC, celular e rádio [5].

O projeto InovCity, desenvolvido pela EDP Bandeirante, desenvolveu um piloto de *Smart Grid* na cidade de Aparecida, em São Paulo. O projeto contemplou áreas como Mobilidade Elétrica, Geração Distribuída, Iluminação Pública Eficiente, Eficiência Energética, Automação de rede e Medição Inteligente. No que se refere à medição inteligente, foram instalados 15 mil medidores desenvolvidos no âmbito do projeto que utilizou a tecnologia *ZigBee*, usando a topologia *Mesh*, associados a coordenadores de rede para a interconexão entre as redes privadas criadas e as redes públicas de dados [6].

Outra iniciativa de projeto envolvendo implantação de AMI foi desenvolvida pela Elektro, empresa de distribuição de energia que opera nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Chamado de Cidade Inteligente, o projeto foi implantado na cidade de São Luiz do Paraitinga e teve como foco a medição inteligente, geração distribuída, iluminação pública, veículos elétricos e integração com consumidores. Os medidores inteligentes utilizavam a tecnologia PLC e o sistema possibilitou corte e religa remoto, acompanhamento do consumo e falta de energia em tempo real [7].

Em 2014, foi implementado o projeto Smart City Búzios, conduzido pela concessionária de energia Ampla. O projeto tinha como objetivo a construção da primeira cidade inteligente da América Latina, e contemplava 8 áreas de atuação: Comunicação com clientes e Sociedade; Medição Eletrônica Inteligente; Telecomunicações e Sistemas; Automação de Rede; Veículos Elétricos; Iluminação Pública Eficiente; Edifícios Inteligentes e Geração Distribuída. O projeto tinha a previsão de instalação de cerca de 10 mil medidores eletrônicos e o sistema de telecomunicações seria atendido por GPRS (*General Packet Radio Service*), rádio ponto-multiponto, RF *Mesh* e PLC [8].

Na China, a estatal *State Grid Corporation of China* (SGCC) iniciou, desde 2010, um programa de planejamento a longo prazo para implantação de redes inteligentes. Destaque para a implementação de medidores inteligentes, onde através de diversos pilotos mais de 40 milhões de medidores foram instalados, sendo que a maioria deles usa tecnologia PLC [9].

Na Espanha, o governo investiu, desde 2008, na substituição dos medidores convencionais por medidores inteligentes. Sem repassar nenhum dos custos para o consumidor final, as distribuidoras locais estimam que cerca de 23 milhões de medidores foram substituídos ao final desse processo [9].

Na França está sendo implementado cerca de 300 mil medidores inteligentes em projetos pilotos, com participação do fundo de desenvolvimento regional (ERDF). Para isso, está sendo utilizado um protocolo de comunicação, *Linky*, que já foi homologado pelo órgão responsável e operado pela empresa de distribuição francesa EDF. Caso o projeto tenha êxito, a expectativa é que 35 milhões de medidores passem a usar esse protocolo [9].

A evolução na quantidade de medidores inteligentes instalados no Brasil e no mundo fica evidente quando se observa o número de projetos que as concessionárias de energia têm feito visando a implantação de uma solução AMI. De acordo com a pesquisa realizada pela *Navigant Research*, estima-se que no Brasil tenham sido instalados cerca de 30 milhões de medidores inteligentes até o ano de 2020, o que representa 30% dos medidores instalados no país [10].

### 3.0 PROJETO AMI DA CEMIG NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Tendo em vista a necessidade de melhorias contínuas no desempenho operacional e na gestão comercial, a Cemig desenvolveu um projeto que amplia o parque de automação da medição através da instalação de uma solução de AMI na região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Serão beneficiadas 250 mil unidades consumidoras a partir deste projeto.

#### 3.1 Requisitos e Arquitetura Geral

A solução AMI demanda os seguintes requisitos mínimos:

- Funcionamento em regime 24 horas x 7 dias com configuração de alta disponibilidade;
- Gestão dos ativos implantados na solução;
- Leitura remota de medidores com disponibilização de dados históricos, relatórios e gráficos das grandezas monitoradas;
- Detecção e monitoramento a distância de irregularidades na medição;
- Corte/religa remotos;
- Tratamento das funcionalidades, eventos/alarmes e comandos;
- Detecção e gestão de falta de energia dos pontos conectados na solução;
- Integração com o sistema SAP (*Systems Applications and Products in Data Processing*) /CCS (*Customer Care and Service System*) e demais sistemas legados conforme especificação.

A arquitetura geral da solução AMI, apresentada na Figura 1, é composta pelos seguintes elementos:

**Medidor:** Equipamento localizado na unidade consumidora destinado à medição de grandezas elétricas, com capacidade de realizar a conexão e desconexão de unidades consumidoras de ligação direta. O medidor possui módulo de comunicação com interface apropriada para transferência de dados de medição, controle e alarmes de forma bidirecional.

**Rede FAN (*Field Area Network*):** Compreende a infraestrutura que garante a comunicação *wireless* de última milha em medidores que se conectam em uma rede comum destinada ao tráfego de dados bidirecional de forma segura.

**Rede WAN (*Wide Area Network*):** Responsável pela conexão bidirecional de dados segura entre os concentradores da rede FAN e o sistema MDC.

**Sistema MDC (*Meter Data Collector*):** Sistema responsável por gerenciar a conexão dos elementos da rede de comunicação do campo, através do envio de comandos, recebimento de dados de medição e tratamento de eventos de forma a garantir a segurança e integridade dos dados de campo. O MDC realiza a transferência dos dados para o sistema MDM.

**Sistema MDM (*Meter Data Management*):** Sistema responsável pelo gerenciamento dos dados com disponibilização para os sistemas legados (*back office*).

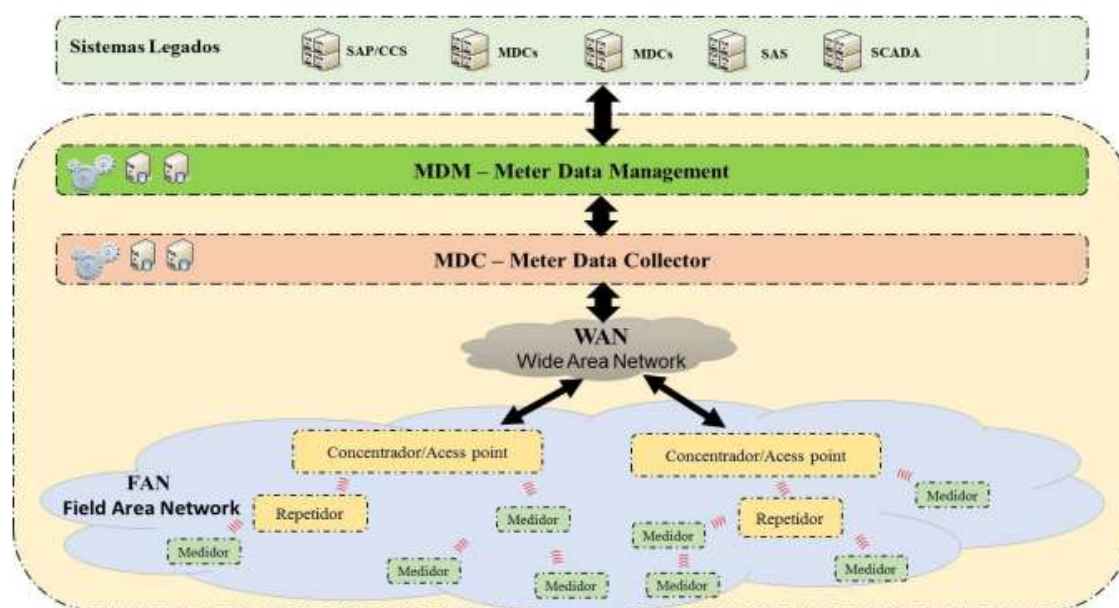


Figura 1 – Arquitetura Geral do Sistema AMI

### 3.2 Rede FAN

A especificação da rede *FAN* apresenta alguns requisitos mínimos para atendimento ao projeto. Um dos critérios estabelecidos é a impossibilidade de atendimento dos medidores a partir dos concentradores ou estação rádio base (eNodeB) exclusivamente com tecnologias com uso de cabos físicos. Outro requisito é a realização da transmissão de dados de falta de energia (*last gasp*) e a atualização remota OTA (*Over the Air*) nos elementos da rede. A Tabela 1 resume os principais requisitos da rede *FAN*.

Tabela 1 – Requisitos Gerais da Rede *FAN* [11]

| Rede <i>FAN</i> - Características Gerais |                           |
|--|---------------------------|
| Parâmetros                               | Requisitos                |
| Protocolo de Comunicação                 | ABNT NBR 14522/DLMS       |
| Topologia                                | Estrela ou <i>Mesh</i>    |
| Frequência                               | ISM ou SLP                |
| Fluxo                                    | Bidirecional              |
| Tecnologia                               | <i>Mesh</i> ou <i>LTE</i> |
| Endereçamento                            | IPv6                      |

*ABNT NBR 14522*: Norma Brasileira para Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica [12]

*DLMS*: Device Language Message Specification

*ISM*: Industrial, Scientific & Medical

*SLP*: Serviço Limitado Privado

*LTE*: Long Term Evolution

Como descrito na Tabela 1, as tecnologias possíveis para o atendimento da rede *FAN* foram restritas às tecnologias *Mesh* e *LTE*. Cada uma apresenta suas particularidades e requisitos específicos. Por exemplo, no caso da rede *Mesh* é imperativo que os medidores tenham a capacidade de se comunicar com um ponto concentrador alternativo quando se perde o concentrador prioritário. No caso da rede *LTE*, 100% das estações rádio base deverão ser instaladas em estações próprias da Cemig, enquanto para a rede *Mesh* o mínimo de utilização de infraestrutura própria da Cemig é de 80 %.

Apesar das tecnologias apresentarem diferenças entre seus requisitos, alguns deles são iguais, como o fato de ambas deverem ser projetadas a prova de futuro, ou seja, devem ser projetadas de forma a garantir outras aplicações

como DA (Automação da Distribuição). A Tabela 2 apresenta os requisitos específicos da rede *FAN* baseada nas tecnologias RF *Mesh* e *LTE*.

Tabela 2 – Requisitos Específicos da Rede *FAN* [11]

| Rede <i>FAN</i> - Última Milha |                                      |   |
|--------------------------------|--------------------------------------|---|
|                                | Parâmetros                           | Requisitos  |
| <b>Mesh</b>                    | Padrão                               | IEE 802.15.4g e WiSun 1.0   |
|                                | Faixa de Frequências                 | 902 a 907,5 e 915 a 928 MHz   |
|                                | Roteamento                           | Dinâmico  |
|                                | Criptografia                         | AES de 128 bits   |
|                                | Latência máxima ida e volta          | 5 segundos  |
|                                | Disponibilidade mensal               | 98%   |
|                                | <i>Throughput</i> mínimo             | 128 kbps  |
|                                | Sistema de alimentação de emergência | 8 horas   |
| <b>LTE</b>                     | Faixa de Frequências                 | SLP abaixo de 1 GHz   |
|                                | Criptografia                         | Padronizados pelo 3GPP  |
|                                | Latência máxima ida e volta          | 5 segundos  |
|                                | Disponibilidade mensal               | 98%   |
|                                | <i>Throughput</i> mínimo             | 128 kbps  |
|                                | EPC ( <i>Evolved Packet Core</i> )   | 1 + 1   |
|                                | Largura de banda mínima              | 5 Mhz se for TDD ou 5Mhz ( <i>Uplink</i> ) + 5 Mhz ( <i>Downlink</i> ) se for FDD |
|                                | Sistema de alimentação de emergência | 8 horas   |

### 3.3 Rede de Dados IP, Backbone e Backhaul

A arquitetura referente à conectividade da rede WAN no projeto AMI pode ser vista na Figura 2 [13]. Esta usa um conceito de zonas para dividir a rede em ambientes menores e mais focados onde os controles de segurança podem ser aplicados de forma consistente. Uma zona é um segmento de rede lógica dentro de um ambiente de rede que possui um perímetro bem definido. Nesta arquitetura, as zonas foram divididas em: *Datacenter*, *Core MPLS*, Agregação/Distribuição, *Backhaul* e *Backbone*, Rede *LTE* e Rede *FAN*.

A rede de transporte, ou *Backbone* e *Backhaul*, apresenta premissas de acordo com a tecnologia a ser utilizada na rede *FAN*. No caso da Rede *Mesh*, a capacidade mínima da rede de transporte para suportar este sistema é de 1 Mbps. O concentrador deverá possuir duas opções de comunicação, uma via celular e outra via interface ethernet.

Já no caso da rede de transporte para suportar a rede *LTE* Privada, foi determinado que essa rede deve ser privada, por meio de enlaces de rádio micro-ondas 1+1 em frequência licenciada ou enlaces ópticos 1+1 para garantir a formação de uma topologia adequada para a rede, sendo preferencialmente a rede em anel. Além disso, em relação aos requisitos de serviços da rede, foi estabelecido que deve haver no mínimo 6 níveis de QoS (*Quality of Service*) para mapeamento dos diferentes perfis de comunicação na rede e trabalhar com modulação adaptativa, com no mínimo as modulações QPSK, 16QAM e 64 QAM.

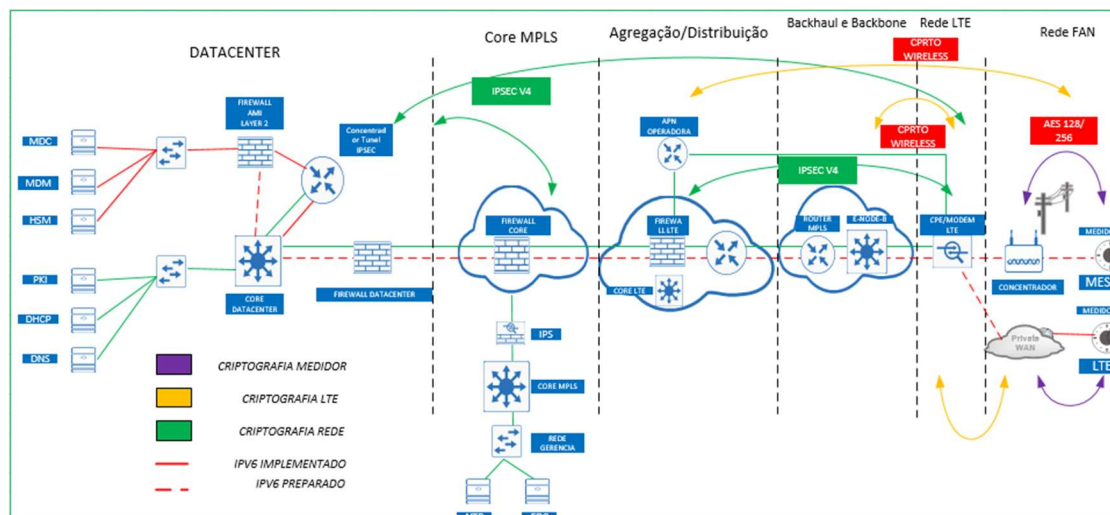


Figura 2 – Arquitetura de Rede do Sistema AMI

### 3.4 Datacenter e Segurança da Informação

O *Datacenter* é o local onde estão localizados os servidores PKI, DHCP e DNS, além dos sistemas *MDC*, *MDM* e *HSM* (*Hardware Security Module*). A arquitetura em questão foi concebida com a utilização de dois *switches*, separando o fluxo de dados dos servidores e dos sistemas. Os *firewalls* espalhados pelas diferentes zonas têm o objetivo de controlar o fluxo de tráfego entre as zonas da rede, enquanto impede o tráfego de rede não autorizado de entrar ou sair de uma determinada zona. Neste caso, dentro da zona do *Datacenter*, dois *firewalls* são utilizados: um para controle dos sistemas responsáveis pelo fluxo de dados do campo até os sistemas legados e outro para controle do acesso do núcleo do *Datacenter*.

A solução deve permitir, com total segurança, a comunicação bidirecional de dados entre os concentradores da rede *FAN* até os sistemas computacionais no *Datacenter*. Por isso há o uso do *IPS* (*Intrusion Prevention System*), que analisa as movimentações na rede e, se detectar um evento suspeito, bloqueia a atividade, funcionando como um elemento ativo na proteção contra tentativas de ataque. O *IPS* está presente na zona denominada “*Core MPLS*”, responsável pelo gerenciamento de todo sistema *MPLS* que suportará o tráfego IP da rede de dados.

### 4.0 Estudo de Cobertura

Na fase de estudos de cobertura de ambas as soluções, foram realizadas simulações posicionando cada elemento de acordo com a tecnologia a ser adotada. A Figura 3 apresenta uma ilustração de uma simulação utilizando a tecnologia *Mesh*, onde a *DCU* (*Data Collector Unity*), representada no círculo em vermelho, são os concentradores de fato, possuindo interface de comunicação em 900 MHz e também portas ethernet e modems 3G/4G para comunicação com o *backhaul*. O repetidor, representado de laranja, possui apenas interface em 900 MHz para compor e expandir a rede *Mesh*. Já os medidores (representados de verde) possuem o NIC de comunicação em 900 MHz e conseguem se conectar diretamente ao repetidor ou à *DCU*. A premissa do estudo permitia que parte das *DCUs* poderiam ser instaladas em subestações da Cemig e parte na rede de distribuição. Já os repetidores deveriam ser instalados apenas na rede de distribuição.

Alguns dos parâmetros utilizados nas simulações estão descritos na tabela 3. Para uma das áreas de estudo, 10.911 medidores conseguiram se conectar a 36 *DCUs*, utilizando 106 repetidores durante o caminho. A partir desses dados, em média cada *DCU* se conectou a 304 medidores, alcançando distâncias acima de 2 quilômetros entre medidor e *DCU*.

Tabela 3 – Parâmetros de simulação da Rede Mesh

|                             | <i>DCU</i>                                | <i>Repetidor</i>      | <i>Medidor</i>        |
|-----------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| Potência                    | 30 dBm                                    | 30 dBm                | 30 dBm                |
| Sensibilidade Projetada     | - 108 dBm                                 | - 108 dBm             | - 108 dBm             |
| Capacidade                  | 700                                       | 25 (conexões diretas) | 25 (conexões diretas) |
| Número de saltos projetados | 15  |                       |                       |
| Frequência                  | 900 MHz (902 a 907,5 MHz e 915 a 928 MHz) |                       |                       |
| Margem de Fading            | 10 dB                                     |                       |                       |

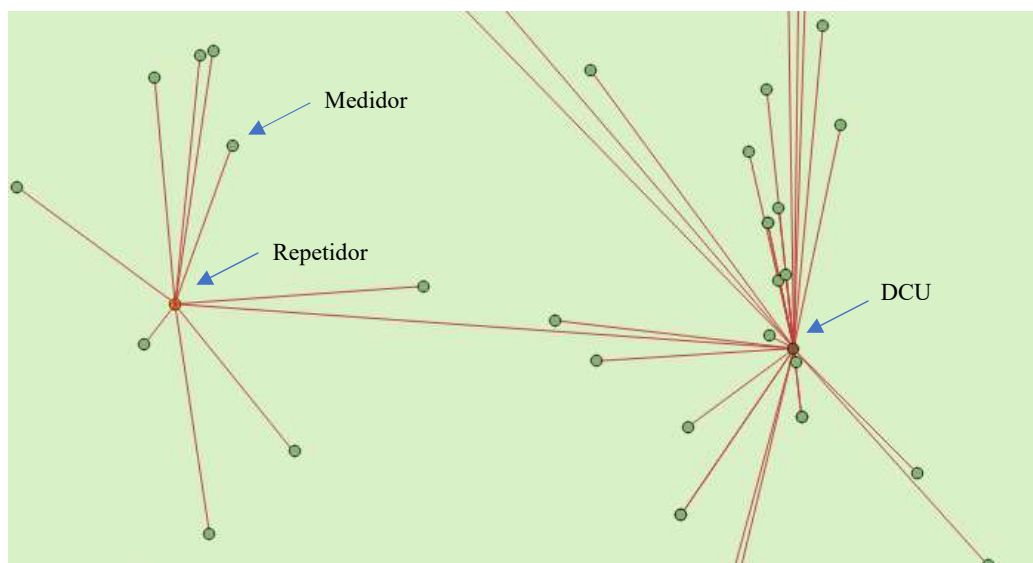


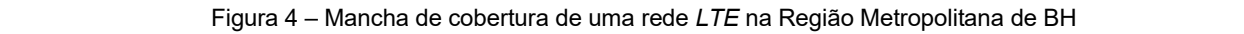
Figura 3 – Estudo de RF da Rede *Mesh*

Os estudos de cobertura para a rede LTE foram feitos inicialmente em um software de predição de cobertura e exportados para um software georeferenciado, como mostra a Figura 4. Neste tipo de tecnologia, os medidores (não inseridos na imagem) se conectam diretamente às estações rádio base, onde já existe um ponto de presença da Cemig para escoar os dados através do *backbone*. Alguns dos parâmetros utilizados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de simulação da Rede *LTE*

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Potência de transmissão (dBm)     | 23    |
| Sensibilidade medidores (dBm)     | -94.2 |
| Frequência (MHz)                  | 250   |
| Altura das antenas no medidor (m) | 1.5   |
| Quantidade de Sites               | 40    |
| Medidores atendidos               | 4139  |





## 5.0 CONCLUSÃO

A digitalização pela qual o mundo passa não é uma realidade distinta do contexto das concessionárias de energia elétrica brasileiras. A modernização do setor passa diretamente por um aumento na automação nos processos e pela implantação de conceitos de *Smart Grid* em suas plantas de operação. Para tanto, as empresas devem investir cada vez mais em uma rede de comunicação que dê suporte para todos esses serviços que no passado não estavam em seus escopos.

No que diz respeito à implantação do sistema AMI, os clientes se beneficiam do fato de terem controle em tempo real do seu próprio consumo, enquanto para a concessionária essa é uma forma de diminuir as perdas não técnicas e os custos operacionais. No caso do projeto AMI desenvolvido pela Cemig, 250 mil unidades serão beneficiadas com a adoção de medidores inteligentes comunicando em RF utilizando a tecnologia *Mesh* e/ou *LTE*.

Para que o sistema atenda a todos os critérios técnicos, tanto da parte de rede *FAN*, quanto da parte de rede de dados IP, *Backbone* e *Backhaul*, *Datacenter* e Segurança da Informação, foram estabelecidos requisitos mínimos que garantissem o correto funcionamento do sistema. Esse é um passo fundamental para que todo projeto tenha o sucesso almejado e que, de fato, os benefícios inicialmente tratados se confirmem.

A implantação da solução AMI proposta para atendimento aos 250 mil consumidores está prevista para o período de 16 meses, tendo início em 2021 e finalizando em 2022. Os próximos passos do projeto envolvem a implantação (rede FAN, sistemas MDC e MDM, instalação dos medidores, integração entre os diversos sistemas e comissionamento) e testes de aceitação para a solução ofertada [14]. O cronograma do projeto de uma forma resumida é apresentado na figura 5.



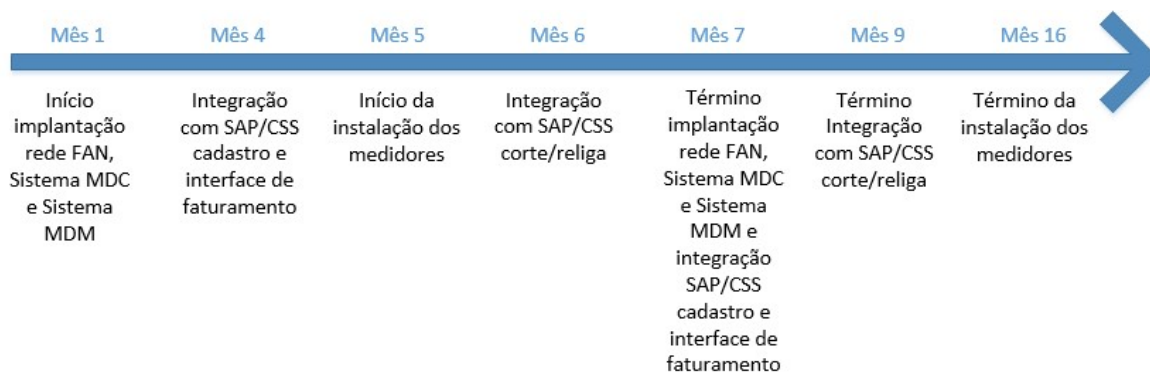


Figura 5 – Cronograma do projeto

## 6.0 REFERÊNCIAS

- [1] R Romano, P. Faria, L. Oliveira, G. Almeida, G. Oliveira and C. Leitão, “Os resultados da implantação de duas soluções de infraestrutura avançada de medição na região geoeletrica da cidade de Sete Lagoas (MG)”, Revista O Setor Elétrico, ed. 118, 2015 pp. 94-99.
- [2] A.Cortez and A. Marcolino, “Oportunidades e desafios para implemenntação de smart grid no setor elétrico brasileiro”, Caderno Opinião FGV Energia, 2019.
- [3] D. Guimarães, G. Carvalho, S. Brito, L. Lima, F. Vieira, M. Dias and M. Lopes, “Implantação de Rede Proprietária de Rádio para Telecontrole de Religadores da Região Metropolitana de Belo Horizonte”, SENDI, 2020.
- [4] M. Pelegrini, B. Nakata, D. Baldissin, R. Sales, A.Silva, C.,Luiz, L. Freitas, “Desenvolvimento e implantação de infraestrutura de Smart Metering: a experiência da Enel SP”, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2019.
- [5] Redes Inteligentes – Acompanhamento de Projetos Piloto. 2021. Disponível em: < <http://redesinteligentesbrasil.org.br/smart-grid-light.html>>. Acesso em 05 fev. 2021.
- [6] J.Marcondes, F. Feo, C. Affonso, P.Andreus, R. Serra, L. Costa, J. Filho, R. Rufini, “InovCity”, Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2012.
- [7] O que torna uma cidade inteligente ? Experiências brasileiras. 2017. Disponível em: < <http://geracaosmartgrid.com.br/o-que-torna-uma-cidade-inteligente-experiencias-brasileiras/>>. Acesso em 05 fev. 2021.
- [8] N. Vilaca, V. Figueiredo, L. Oliveira, V. Ferreira, M. Fortes, W. Correia, O. Pacheco, “Smart City – Caso da Implantação em Búzios – RJ”, Revista SODEBRAS, volume 9, nº 98, Fevereiro/2014.
- [9] W. Menezes, “Medidores Inteligentes e Comunicação de Dados em Redes Inteligentes”, Trabalho de conclusão de curso, Campina Grande/2020.
- [10] R.Hayashi, “Como Redes Mesh e medidores inteligentes reduzem o furto de energia”, Revista O Setor Elétrico, 2019.
- [11] Especificação Técnica de Rede de Telecomunicações de Dados para Infraestrutura de Medição Avançada – AMI, 02.112-DPR/TC-3240, Cemig Distribuição S.A., Belo Horizonte – Setembro/2019.
- [12] Norma Brasileira ABNT NBR 14522 – Data Exchange for eletricity metering systems, 2008
- [13] Especificação Técnica de rede de dados IP, backbone, backhaul, datacenter e segurança da informação, para Infraestrutura de Medição Avançada – AMI, 02.112-DPR/TC-3246, Cemig Distribuição S.A., Belo Horizonte – Novembro/2019.

- [14] Especificação Técnica para Fornecimento de Solução de Infraestrutura de Medição Avançada-AMI, 02.111-AD/ES- ET-058, Cemig Distribuição S.A., Belo Horizonte, 2019.

## DADOS BIOGRÁFICOS



Engenheiro Eletricista com Ênfase em Telecomunicações na UFJFPós-Graduação em Automação do Sistema Elétrico de Potência na PUC-MinasEngenheiro de Telecomunicações da Cemig desde 2018, atuando majoritariamente na elaboração de estudos de viabilidade técnica-econômica para soluções de rede e telecomunicações.

(2) LEONARDO HENRIQUE DE MELO LEITE Doutor e Mestre em Engenharia Elétrica (UFMG – 2016 / 2005). Graduação em Engenharia Elétrica (UFMG – 2000). Técnico em Eletrônica Industrial (CEFET - 1993). Engenheiro Eletricista Sênior da FITec há mais de 20 anos. Coordenador Técnico de diversos projetos em empresas de energia elétrica. Professor dos Cursos de Pós Graduação – Master Setor Elétrico, Automação de SEP e Proteção de SEP - PUC-MG. Professor adjunto do curso de Engenharia Elétrica do UNI-BH (11 anos). Revisor de periódicos nacionais e internacionais. Áreas de atuação: Geração Distribuída de Energia, Smart Grids, Energia Renováveis, Automação de SEP, Co-Simulação de Sistemas de Energia e Telecomunicações, Sistemas de Missão Crítica.