

## ESPECIFICAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA AVANÇADO DE GERENCIAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DO MODELO DE REFERÊNCIA PARA *SMART GRID*

LEITE, Jonatas Boas<sup>1</sup>

MANTOVANI, Jose Roberto Sanches<sup>2</sup>

### RESUMO

Neste trabalho, tem-se como objetivo principal a proposição da arquitetura de um sistema avançado de gerenciamento da distribuição para operar a *smart grid*, que é constituída pela junção do sistema de energia elétrica com as tecnologias de comunicação e informação. Existem, atualmente, diversos estudos relacionados à *smart grid* nas mais diversas linhas do conhecimento e isso pode criar um cenário de desconfiança sobre o conceito de projeto da *smart grid*. Para evitar eventuais incertezas, primeiramente, é apresentada uma revisão da literatura mostrando o estado da arte das novas tecnologias usadas na *smart grid* bem como uma proposta de padronização desse novo conceito de projeto para sistemas de energia elétrica. A partir desse padrão de projeto, é possível destacar e descrever cada componente do sistema avançado de gerenciamento da distribuição.

**Palavra-chave:** *Smart grid*. Sistema avançado de gerenciamento da distribuição.

### ABSTRACT

This work aims mainly the architectural determination of an advanced distribution management system to operate the smart grid that comprises the intersection of electrical power system with communication and information technologies. There are, currently, many studies related to the smart grid, which can produce doubts about the smart grid design concept. This doubtful scenario is firstly clarified by the literature review of novel technologies for smart grid besides the description of the standardization of smart grid

---

<sup>1</sup> Doutor – Engenharia Elétrica - Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP - Câmpus de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Elétrica; e-mail: jonatasboasleite@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP; e-mail: mant@dee.feis.unesp.br

design concepts. The use of the smart grid design standard allows identifying and developing all components of the advanced distribution management system.

**Keywords:** Smart grid. Advanced distribution management system.

## INTRODUÇÃO

A *smart grid* é caracterizada por um fluxo bidirecional de eletricidade e informações obtido pela integração do sistema de energia elétrica com as tecnologias de informação e comunicação e pelo uso do gerenciamento da resposta à demanda que coordena os veículos elétricos plugáveis, fontes de energia renováveis e cargas elétricas (DEILAMI *et al.*, 2011). As operações ativas em tempo real, tais como *self-healing* e suporte *plug-and-play* também são características esperadas da *smart grid*, que permite a participação ativa do consumidor final nos mercados de energia e a criação de novos serviços e produtos visando maximizar a confiabilidade, a qualidade e a eficiência energética. Portanto, os maiores desafios aos pesquisadores da *smart grid* estão relacionados ao desenvolvimento de dispositivos inteligentes, sistemas de comunicação, segurança cibernética, gerenciamento de dados e de *softwares* dedicados.

Os *smart meters* são dispositivos inteligentes importantes para a estrutura da *smart grid*, pois eles suportam as operações de leitura automática, ajudam no gerenciamento dos aparelhos domésticos e são os principais componentes da infraestrutura avançada de medição (AMI) (CHO *et al.*, 2009). A rede de comunicação da AMI é hierárquica e possui muitos *smart meters* agrupados em redes de vizinhança na base dessa hierarquia; logo acima, as unidades de agregação de dados recebem os dados dos *smart meters* e os enviam, via uma rede ampla, para o sistema de gerenciamento de dados de medição (MDMS), que está localizado no topo da hierarquia. Os dados do MDMS podem ser usados para a previsão do carregamento da rede elétrica e para as decisões de atuação do sistema de proteção. Além disso, os dados de medição podem ser processados com os dados de mercado para realizar as operações de despacho econômico (NIYATO; WANG, 2012). Além do desenvolvimento dos dispositivos inteligentes também tem sido observado grande avanço na integração das redes de comunicação.

A rede de comunicação típica do sistema de controle e aquisição de dados (SCADA) tem baixa taxa de transferência de dados, o que não é adequada para as operações da *smart grid*, por outro lado, o sistema de monitoramento em área ampla (WAMS) usa uma comunicação de alta velocidade via *Internet* representando, assim, a próxima geração das redes de sensores que é adequada para a arquitetura da *smart grid*. A WAMS é capaz de monitorar a infraestrutura do sistema de energia elétrica e detectar falhas mecânicas tais como *hot spots*, falha no condutor, falha na estrutura de sustentação das redes de alta e baixa tensão e condições mecânicas extremas (QIU *et al.*, 2011) (LEON *et al.*, 2007). A unidade de medição fasorial (PMU), a componente mais importante da WAMS, fornece dados do sistema de energia elétrica que são sincronizados no tempo e muito úteis às operações em tempo real. A PMU foi desenvolvida essencialmente para medir os fasores de tensão e corrente, frequência e potência ativa e reativa em tempo real cuja marcação temporal é fornecida pelo sistema de posicionamento global (GPS). Logo, outro fator importante para sucesso da *smart grid* é a segurança dos dados.

Vários dispositivos da *smart grid* usam conexão com a *Internet* para a troca de informações, assim, a segurança cibernética torna-se um recurso crucial para garantir a integridade e resiliência das operações da *smart grid*. Por exemplo, o ataque de alteração do carregamento via *Internet* deve ser um ataque cibernético comum que danifica o sistema de energia elétrica pelo *overflow* do circuito ou pelo distúrbio entre potência fornecida e demandada. Esta vulnerabilidade pode existir na *smart grid* onde o operador do sistema transmite mensagens de monitoramento e controle aos *smart meters* e sistemas domésticos de gerenciamento de energia através de servidores hospedados na *Internet*. Deste modo, um conjunto de mecanismos de defesa, tais como a proteção dos sinais de comando e preço, proteção dos *smart meters* e *data centers*, detecção de ataques e aprendizagem dos padrões de demanda, agendamento e realocação de carga, deve ajudar no bloqueio ou na minimização dos ataques realizados via *Internet* (PALENSKY; DIETRICH, 2011) (MOHSENIAN-RADAND; LEON-GARCIA, 2011). A segurança cibernética deve estar presente em todas as camadas da estrutura da *smart grid*, principalmente, nos sistemas de gerenciamento.

No topo da estrutura da *smart grid*, existem a gerência de dados e o emprego de *software*, representando o núcleo administrativo do sistema avançado de gerenciamento da distribuição (ADMS) que requer uma arquitetura distribuída, fornecimento de serviços inteligentes, habilidade para tratar com eventos complexos e dinâmicos e suporte para várias fontes de energia, tais como as energias renováveis e distribuídas, a fim de coordenar as unidades de produção convencionais com as unidades não convencionais e formar as *microgrids* (BYUN *et al.*, 2011) (KANCHEV *et al.*, 2011). Uma arquitetura em múltiplas plataformas aplicada ao ADMS deve permitir a interação com outros aplicativos, tal como o sistema de informação geográfica (GIS) via interface padronizada do usuário. Conseqüentemente, duas ou mais redes, sistemas, dispositivos, aplicativos ou componentes podem trocar informações entre si e usá-las (LIGHTNER *et al.*, 2010). Outros recursos, como a filtragem e visualização de dados, devem permitir a análise rápida das condições da rede e melhorar o processo de tomada de decisões, por exemplo, a ferramenta de coloração dinâmica melhora a resposta dos operadores em situações de estresse (SINGH *et al.*, 1998).

Os desafios relacionados à *smart grid* estão sendo estudados tanto quanto suas soluções estão sendo propostas. No âmbito das soluções, na Seção 2 descreve-se em detalhes os esforços envolvidos no desenvolvimento de um modelo padrão para o projeto de recursos da *smart grid*. Na Seção 3, as principais características e funcionalidades do ADMS são apresentadas e, sucessivamente, a arquitetura do ADMS usando o modelo de referência da *smart grid* é especificado na Seção 4. Por fim, têm-se as considerações finais e referências.

## 2. PADRONIZAÇÃO DA SMART GRID

Os desafios na obtenção da *smart grid* são numerosos, então muitas propostas de solução têm sido apresentadas criando um cenário desorientado repleto de incertezas. Buscando esclarecer tal cenário, alguns grupos de estudo estão desenvolvendo padrões para as *smart grids*. A União Internacional de Telecomunicações estabeleceu o *Focus Group on Smart Grid (FG-Smart)* que desenvolveu uma arquitetura de referência simplificada à *smart grid*, conforme apresentado na Figura 1, onde os domínios do fornecedor de serviços, rede e consumidor são conectados através de uma rede de

comunicação para a troca de informação. O supervisor SCADA no domínio da rede pode, por exemplo, controlar e coletar dados em tempo real dos dispositivos de campo via rede de comunicação (LEE; SU, 2013).

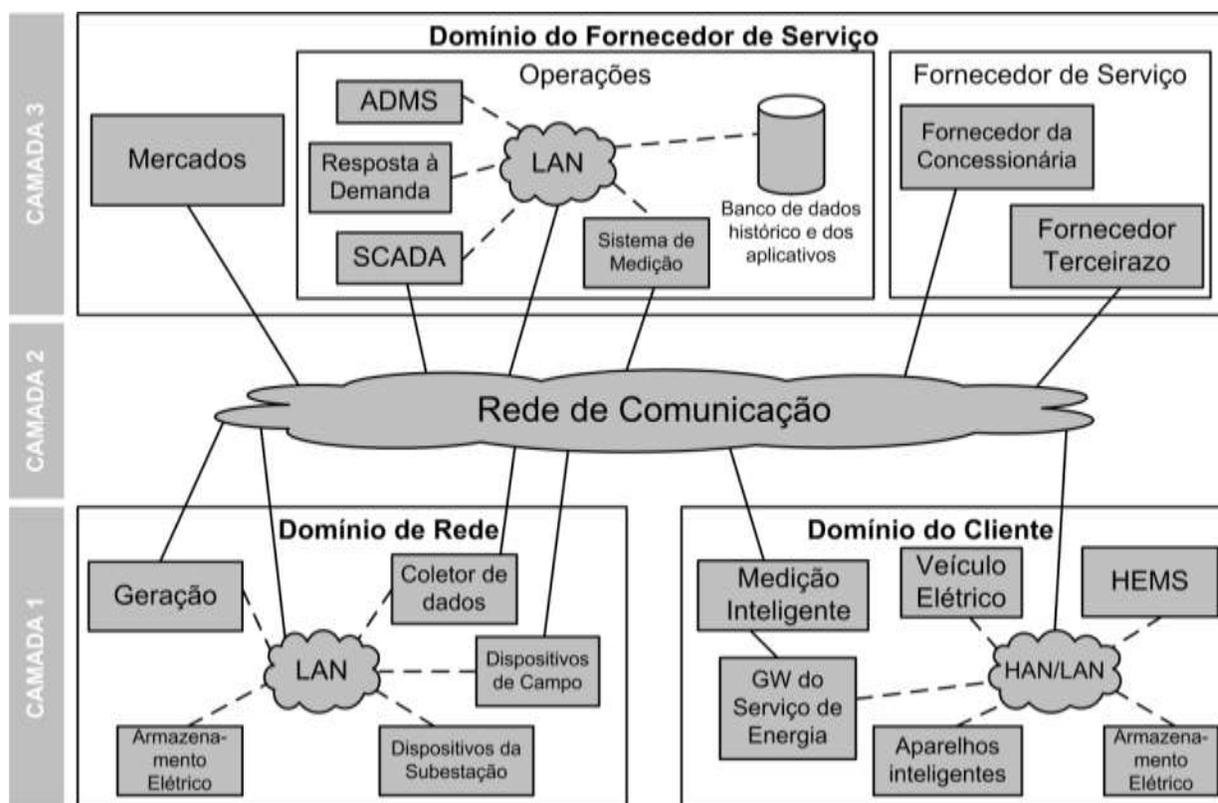


Figura 1. Arquitetura de referência simplificada para a *smart grid*.

Fonte: LEITE; MANTOVANI, 2015a

O grupo *FG-Smart* obteve a arquitetura de referência a partir do agrupamento dos componentes da *smart grid* em três grandes conjuntos: aplicações/serviços da *smart grid*; comunicação; e equipamentos físicos que estão, respectivamente, associados às camadas 1, 2 e 3 na Figura 1. Esta proposta de modelo em camadas, desenvolvido pelo grupo *FG-Smart*, é fundamentada em padrões já existentes como o modelo de projeto do sistema SCADA que também possui três camadas fundamentais: centro de controle; redes de comunicação e *sites* em campo. Protocolos de comunicação padronizados ou proprietários são utilizados para transmitir informações entre o centro de controle e os *sites* em campo, usando técnicas de telemetria através de meios como linha telefônica, cabo, fibra óptica e rádio frequência.

No geral, as funções internas de qualquer sistema de comunicação podem ser padronizadas ou descritas pelo modelo aberto de interconexões de sistemas (OSI) que agrupa todas as funções de comunicação em sete camadas lógicas onde a camada intermediária fornece informações para a camada superior e coleta informações da camada inferior. O diagrama da Figura 2 apresenta o modelo OSI de referência básico onde as camadas são numeradas hierarquicamente de 1 a 7 e cujas descrições são:

- 1) *Camada física*: define as especificações elétricas e físicas para os dispositivos, em particular, a relação entre um dispositivo e um meio de transmissão, tais como cobre e fibra óptica;
- 2) *Camada do enlace de dados*: controla o fluxo de dados, estabelece um protocolo de comunicação entre sistemas, detecta e corrige erros que possam ocorrer na camada física;
- 3) *Camada de rede*: fornece meios funcionais e processuais à transferência de dados de uma fonte para um host de destino localizado em uma rede diferente, mantendo a qualidade de serviço exigida pela camada de transporte. Os roteadores operam nesta camada;
- 4) *Camada de transporte*: suporta a transferência transparente de dados entre os usuários finais fornecendo serviços de transferência de dados confiáveis para as camadas superiores;
- 5) *Camada da seção*: estabelece uma seção de comunicação entre computadores diferentes definindo o modo de transmissão de dados e colocando marcações nos dados transmitidos a fim de restabelecer a seção caso ocorra alguma falha na rede;

|   |                 |   |
|---|-----------------|---|
| 7 | Aplicação       | Transferência de arquivos, envio de e-mails, terminal virtual, etc.     |
| 6 | Apresentação    | Formatação de dados, conversão de códigos e caracteres.                 |
| 5 | Seção           | Negociação e conexão com outros nós.                                    |
| 4 | Transporte      | Métodos para entrega de dados ponto-a-ponto.                            |
| 3 | Rede            | Roteamento de pacotes em uma ou várias redes.                           |
| 2 | Enlace de dados | Deteção e correção de erros do meio de transmissão.                     |
| 1 | Física          | Transmissão e recepção dos <i>bits</i> brutos pelo meio de comunicação. |

Figura 2. Modelo de referência de comunicação OSI.

Fonte: LEITE; MANTOVANI, 2015a

- 6) *Camada de apresentação*: converte o formato de dado recebido a partir da camada de aplicação para o formato de dado usado na comunicação. Por exemplo, converte um arquivo de texto para o padrão ASCII. Esta camada pode ter outros usos como compressão e criptografia de dados;
- 7) *Camada de aplicação*: está mais próxima do usuário final e fornece as aplicações necessárias para estabelecer a interação entre máquina e usuário. Esta camada também disponibiliza recursos para viabilizar a comunicação.

O modelo OSI suporta diversos protocolos de comunicação sendo essencial no projeto de qualquer rede de comunicação. Sua utilidade e versatilidade influenciaram o desenvolvimento de um modelo de referência completo que incorporasse e especificasse todas as funcionalidades da *smart grid* (CÉSPEDES, 2012). Na Figura 3 são apresentadas as sete camadas desse modelo de referência completo à *smart grid* e, as descrições de cada camada deste são as seguintes:

- 1) *Camada física (F)*: inclui todos os elementos físicos do sistema de potência e todos os equipamentos que operam com variáveis analógicas como geradores, linhas, transformadores, equipamento de proteção analógico, medidores de energia convencionais, transdutores, etc;
- 2) *Camada de interface (If)*: esta camada permite a conexão e transferência de dados entre os elementos físicos e as camadas superiores. Relaciona-se com todos os elementos que permitem avançar da dimensão analógica para a digital. Por exemplo, reporta o estado de elementos físicos tais como aberto/fechado em formato digital (0/1), ou as variáveis de operação digitalizadas (tensão, corrente, potência, etc);
- 3) *Camada de comunicação (C)*: inclui todos os componentes que permitem a troca de dados entre os dispositivos da *smart grid*. Compõe-se dos mecanismos que permitem a comunicação, por exemplo, os protocolos usados para enviar mensagens às camadas superiores. Sustenta-se por roteadores e outros dispositivos de comunicação, e suporta várias opções para transferência de dados como fibra óptica, comunicação na linha de

|   |                  |  |
|---|------------------|--|
| 7 | Inteligência (I) | Processamento avançado entre sistemas para operação automatizada.        |
| 6 | Análise (A)      | Contém funções e aplicações que auxiliam na tomada de decisão.           |
| 5 | Modelo (M)       | Representação abstrata dos componentes da <i>Smart Grid</i> .            |
| 4 | Sistema (S)      | Coleta e processamento de dados.   |
| 3 | Comunicação (C)  | Troca de dados entre os componentes da <i>Smart Grid</i> .               |
| 2 | Interface (If)   | Conversão analógico/digital e transferência de dados.                    |
| 1 | Física (F)       | Sistema de potência: geradores, transformadores, proteção analógica, etc |

**Figura 3. Modelo de referência para a *smart grid*.**

**Fonte: LEITE; MANTOVANI, 2015a**

potência (PLC), micro ondas, etc. Todas as formas de comunicação transportam pacotes de informação digital;

- 4) *Camada de sistema (S)*: corresponde ao conjunto de dispositivos e recursos computacionais que coletam dados das camadas de comunicação, interface e física. Esta camada inclui as funções de processamento de dados (cálculos básicos), geração e gerenciamento de alarmes, eventos e *logs* e, coleta de dados históricos;
- 5) *Camada de modelo (M)*: compõe a representação abstrata dos elementos das camadas do sistema, comunicação, interface e física para permitir análise e simulação pelas camadas superiores. O modelo pode ser tão detalhado quanto o exigido, e é normalmente documentado por linguagens específicas como a linguagem de modelagem unificada (UML). Um exemplo é o modelo de informação comum (CIM) e as modelagens exigidas do padrão IEC61850;
- 6) *Camada de Análise (A)*: inclui todas as funções e aplicações para suportar as tomadas de decisões do operador usando dados em tempo real ou históricos da camada do sistema. Por exemplo, o estimador de estados usa dados do sistema SCADA na realização de seus próprios cálculos e ajuda o operador, usando casos bases consistentes para posterior processamento em métodos de análise de contingências e fluxo de potência;

7) *Camada de inteligência (I)*: é o nível mais alto do modelo de referência da *smart grid*. Ela inclui recursos avançadas de processamento de dados, tais como mineração de dados e processos altamente automatizados, que não exigem a intervenção humana. Esta última camada coleta dados de vários sistemas e aplicações complexas para converter isso em informações e decisões. A camada de inteligência inclui funções como a operação de rede automática, proteção avançada adaptativa e aplicações de controle.

Este modelo de referência completo é um conceito de altíssimo nível que possibilita a diferenciação dos projetos da *smart grid* daqueles convencionais do sistema de energia elétrica.

### 3. SISTEMA AVANÇADO DE GERENCIAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO

No passado, as redes de distribuição não visavam a eficiência operacional, mas hoje o aumento da demanda por eletricidade, juntamente com a descoberta de novas tecnologias, encorajam a modernização do sistema de distribuição de energia elétrica. No futuro, as exigências de monitoramento e controle do sistema de distribuição devem aumentar ainda mais devido à arquitetura integrada da *smart grid* que permite a troca de informações entre o ADMS e o mercado de energia. Além disso, os clientes subordinados às concessionária de energia elétrica passarão a consumir e gerar eletricidade usando agendamentos e regras específicas que exigem uma rede de distribuição com fluxo bidirecional de energia e elevada capacidade de monitoramento e controle (GLOVER *et al.*, 2010).

Os impactos do gerenciamento da resposta à demanda (DRM) e o comportamento dos consumidores devem ser modelados e previstos pelas regras de preço e procedimentos de premiação para determinados períodos de tempo que podem ser incorporados em algoritmos de modelagem e previsão de cargas (algoritmos de fluxo de potência, modelagem dos componentes da rede de distribuição e previsão de carga e topologia) através da conexão direta entre as aplicações do ADMS e DRM. Por exemplo, quando um recurso do DRM tenta liberar alguma carga elétrica em resposta a uma ordem

do operador do sistema, antes disso, ele precisa checar com o ADMS se a liberação de carga não causará nenhuma violação da conectividade, operação ou proteção da rede de distribuição de energia elétrica (NIYATO *et al.*, 2012). Portanto, os avanços tecnológicos da *smart grid* têm grande influência nas funções do ADMS que devem ser adaptadas para suportar todas as exigências de monitoramento e controle (FAN; BORLASE, 2009). As principais adaptações são sintetizadas na Tabela 1.

Além disso, um ADMS também deve fornecer os aplicativos e as ferramentas de análise e visualização que integram o elevado aumento de dados provenientes dos dispositivos em campo. Em particular, as ferramentas de visualização fornecem uma visão detalhada e clara dessa grande quantidade de dados, por exemplo, elas podem mostrar o perfil das magnitudes de tensão pelos contornos coloridos nos diagramas da rede de distribuição de energia elétrica, podem monitorar e alarmar os desvios de tensão ou podem mostrar o fluxo de energia nas linhas de distribuição através de um diagrama de contorno onde os tons das cores correspondem às correntes nas linhas. Deste modo, os operadores do sistema e fornecedores de serviços podem se beneficiarem enormemente dessas ferramentas em suas atividades diárias.

Tabela 1. Funções do ADMS na *smart grid*

| Função do DMS                                   | Abreviação | Avanço  |
|---|------------|---|
| Detecção, isolamento e restauração de faltas    | FDIR       | Otimização para configurações radiais e em malhas fechadas. Reconfiguração multi nível do alimentador, estratégia de reconfiguração multi objetiva e validação do carregamento futuro.  |
| Controle integrado de tensão e potência         | IVVC       | Identificar falhas no banco de capacitor, trocador de <i>tap</i> e regulador. Fornecer estatísticas suficientes para otimizar bancos de capacitores e reguladores localizados na rede. Os objetos do IVVC regional devem incluir otimização operacional ou baseada no custo.  |
| Processador de topologia                        | TP         |   |
| Fluxo de potência da distribuição               | DPF        |   |
| Reconfiguração ótima de rede                    | ONR        |   |
| Análise de contingência                         | CA         | Devem estender-se até os consumidores, incluir modelos e análises mono e trifásicas. Pequenas cargas de geração devem complicar o controle emergencial, as análises de fluxo de potência e contingência da rede. Esquemas de proteção devem considerar o fluxo de potência bidirecional. A verificação dos bancos de dados deve permitir maior precisão na previsão da carga em condições esperadas quando a operação dos recursos computacionais são solicitadas. Estimação de carga e gerenciamento dos dados da carga devem auxiliar no planejamento e otimização da operação. |
| Gerenciamento dos pedidos de chaveamento        | SOM        |   |
| Análise de curto-circuito                       | SCA        |   |
| Coordenação dos relés de proteção               | RPC        |   |
| Alocação ótima de capacitor/regulador de tensão | OCP/OVP    |   |
| Simulador de treinamento do despacho            | DTS        |   |
| Modelagem/Estimação de carga                    | LM/LE      | Comportamento do consumidor além de previsto deve ser individualmente gerenciado inteligentemente e influenciado pelo gerenciamento da distribuição.  |

#### 4. ARQUITETURA DO ADMS USANDO O MODELO DE REFERÊNCIA

No processo de determinação da arquitetura do ADMS, deve-se considerar que suas funções e recursos computacionais pertencem ao universo da *smart grid* onde o modelo de referência pode orientar e auxiliar na especificação dos elementos necessários. Um rápido exame nas funções do ADMS sugere que elementos lógicos para gerenciamento e processamento de dados seriam suficientes na determinação da arquitetura, contudo esses elementos lógicos dependem de unidades computacionais de processamento tanto quanto dos dispositivos que geram os dados de entrada. Portanto, a identificação dos elementos presentes em cada camada do modelo de referência faz-se necessária na especificação da arquitetura do ADMS.

Na Figura 04 é apresentado um modelo simplificado dos componentes de um DMS avançado, gerado a partir do modelo de referência da *smart grid*. Na camada física (F), existe um sistema de distribuição onde as redes de média e baixa tensão são conectadas por um transformador de distribuição que é monitorado pela PMU #1. Similarmente, o disjuntor é monitorado e controlado pelo dispositivo eletrônico inteligente (IED) #1 e a chave automática pelo IED #2 enquanto as cargas elétricas são monitoradas pelos *smart meters* (SM) #1 e #2. Todos os dispositivos de monitoramento e controle estão localizados na camada de interface onde também existem as unidades agregadoras de dados que transferem dados de medição via a rede de área ampla (WAN), representada por uma nuvem na camada de comunicação. A camada de sistema possui primariamente o *hardware* dos elementos computacionais, tais como servidores (*Market*, GIS, banco de dados (DB) e *web*) e clientes (operador), que coletam e processam os dados provenientes da camada de comunicação. Estas quatro camadas possuem todos os equipamentos dos sistemas de energia elétrica, comunicação e informação. As outras três camadas superiores são camadas lógicas e possuem aplicativos de programação computacional que são frequentemente objetos de estudo de muitos pesquisadores da *smart grid*, por exemplo, o estimador de estados na camada de análise é essencial na operação do ADMS e fornece suporte para muitas operações automatizadas tais como *self-healing* (FDIR) e *load scheduling* (LM/LE).

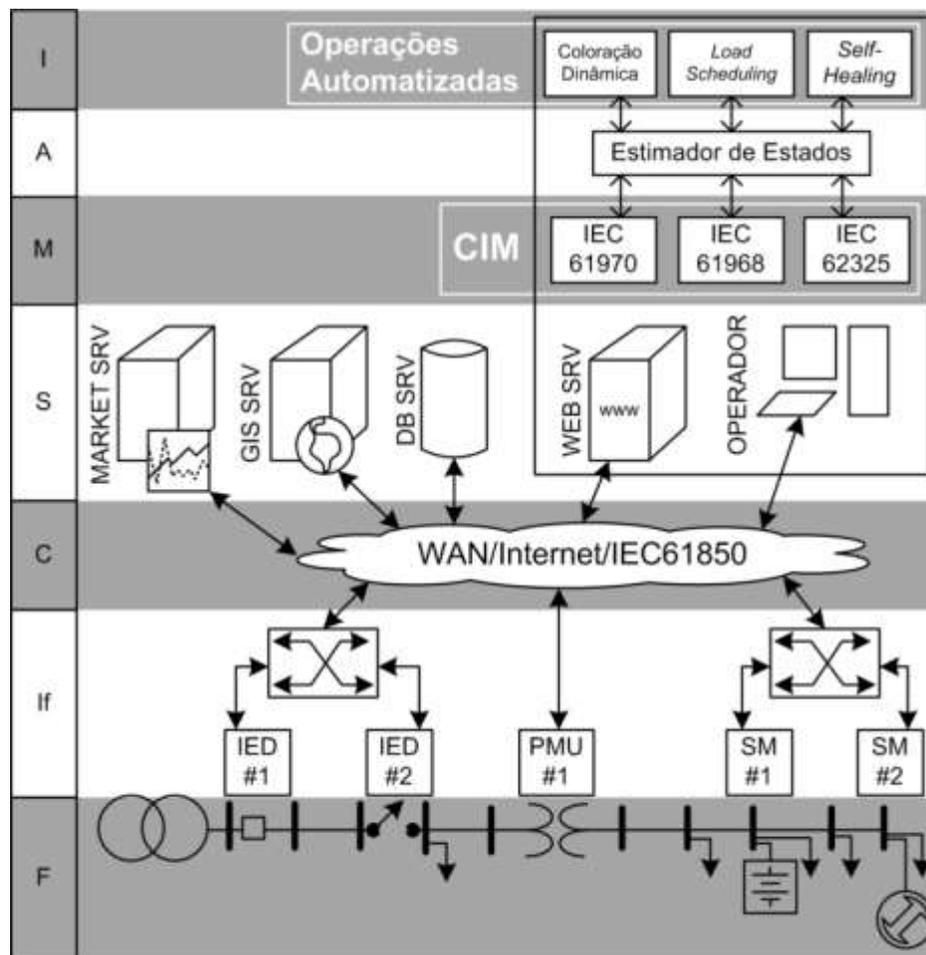


Figura 4. Modelo de referência da *smart grid* aplicado ao ADMS.

Fonte: LEITE; MANTOVANI, 2015b

#### 4.1. Estudo de Caso: Acesso às informações do IED

O padrão IEC 61850 é restrito às interfaces de comunicação, mas ele também inclui modelos de informações de domínios específicos. No caso da subestação, um conjunto de funções foi modelado através de representação virtual dos equipamentos da subestação. Além disso, o padrão inclui a especificação de uma linguagem de configuração. Esta linguagem define um conjunto de arquivos padronizados em XML que pode ser utilizado para definir de modo padronizado a especificação do sistema, a configuração do sistema e a configuração de IEDs individuais dentro do sistema. Os arquivos podem ser utilizados para a troca de informações de configurações entre as ferramentas computacionais de diferentes fabricantes dos equipamentos de automação

da subestação. Na Figura 5 é apresentado um cenário de interações necessárias para o acesso às informações de um IED usando os recursos da camada de sistema da arquitetura proposta do ADMS.

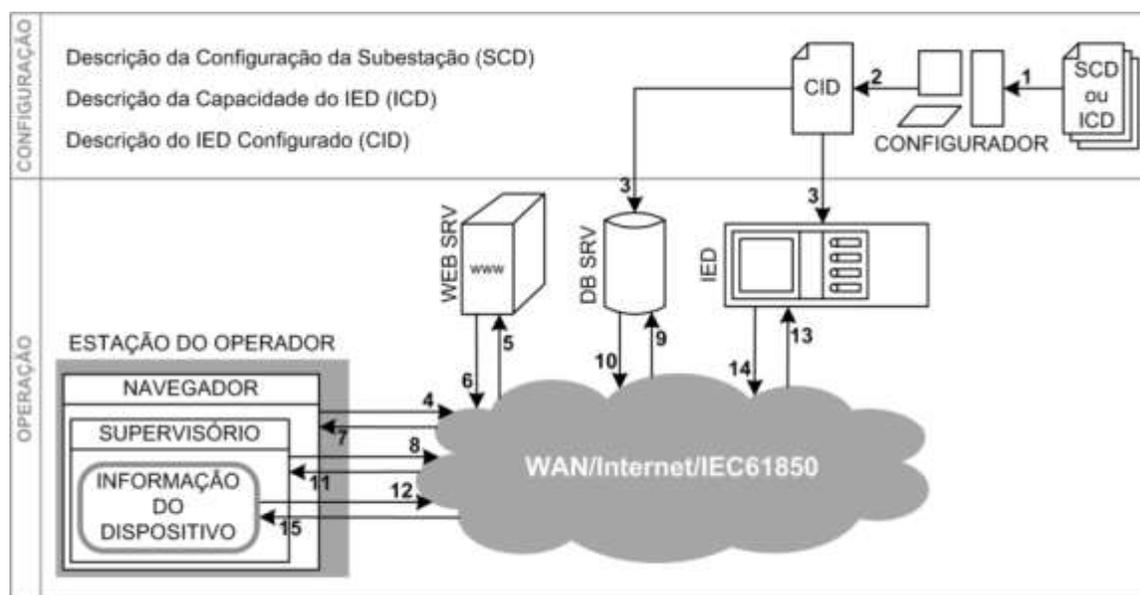


Figura 5. Fluxo de informação usando a arquitetura do ADMS.

Fonte: LEITE; MANTOVANI, 2015a

Os fluxos 1, 2 e 3 ocorrem durante a parametrização do IED e em sua consequente integração ao sistema SCADA. O fluxo 1 representa a importação do arquivo de formato ICD que contém os *templates* dos dados necessários ao IED incluindo as definições do tipo de nó lógico. Com esse arquivo, e usando um configurador fornecido pelo fabricante do dispositivo, pode-se gerar o arquivo do tipo CID conforme as especificações de projeto, fluxo 2. Após isso, ocorre o fluxo 3 quando o arquivo CID é exportado tanto para o IED, quanto para o servidor de banco de dados. A configuração do IED termina com a atualização dos seus parâmetros internos usando o arquivo CID que, também, é armazenado no banco de dados. Desta forma, os modelos de informações do dispositivo parametrizado são compartilhados com outros equipamentos localizados além do domínio da subestação para possíveis trocas de informações.

Os fluxos de 4 a 15 representam as interações entre os diversos componentes da estrutura do sistema SCADA para viabilizar o acesso à informação do IED. Primeiramente, o operador em sua estação de trabalho abre seu navegador genérico e,

através da URL, solicita o acesso ao aplicativo supervisorio do ADMS, fluxo 4. O servidor de aplicativos (WEB SRV) recebe via WAN a solicitação de acesso ao aplicativo supervisorio, fluxo 5, e atualiza o navegador do operador com a última versão do aplicativo, fluxos 6 e 7. Com o navegador atualizado e executando o aplicativo supervisorio, o operador utiliza a função de Editor do Sistema para navegar até o equipamento elétrico controlado pelo IED. O operador clica no símbolo do equipamento iniciando o procedimento de acesso à informação do IED onde, primeiramente, é solicitado o arquivo de parametrização do dispositivo, fluxos 8 e 9. O servidor de banco de dados (DB SRV) ao receber a solicitação, seleciona o arquivo CID dentro da tabela do equipamento elétrico em supervisão e envia este arquivo ao aplicativo supervisorio do operador, fluxos 10 e 11. Neste momento, o aplicativo abre a caixa de dialogo de informação do dispositivo que é construída usando as informações do arquivo CID obtido do banco de dados. De posse do arquivo com os modelos de informação, a ferramenta de informação do dispositivo inicia o procedimento de sincronização dos estados do IED com a interface gráfica da caixa de diálogo via interface de comunicação abstrata do padrão IEC 61850 usando o serviço Ler do modelo de troca de informação. Os fluxos de informação de 12 a 15 ocorrem durante essa sincronização. Na Figura 6 apresenta-se o resultado desse procedimento, onde a função do Editor do Sistema aparece em segundo plano enquanto a caixa de diálogo com as informações em tempo real do IED é mostrada em primeiro plano.

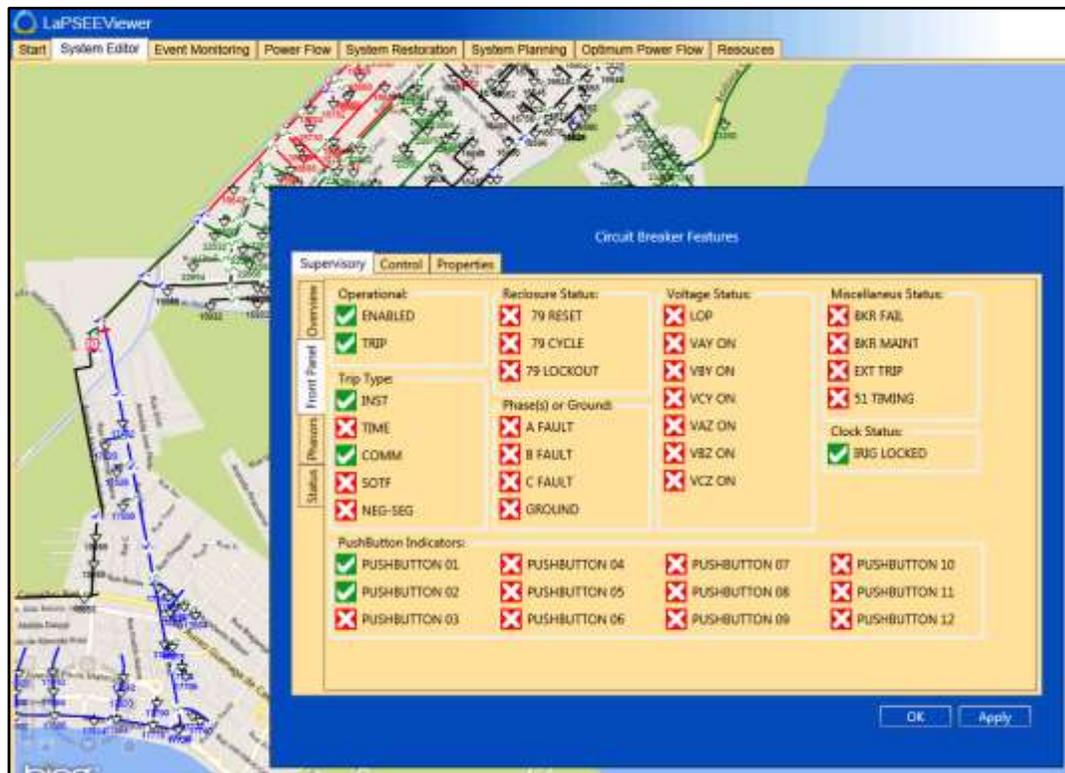


Figura 6. Interface gráfica do operador com as informações coletadas do IED.  
Fonte: Elaboração do próprio autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de certo ceticismo relacionado à crescente utilização das tecnologias de comunicação e informação no sistema elétrico de energia, o modelo de referência para projetos da *smart grid* aumenta a segurança no desenvolvimento e implantação das novas tecnologias. A arquitetura do ADMS especificada neste trabalho foi utilizada para o desenvolvimento de um ambiente de simulação da *smart grid* (LEITE; MANTOVANI, 2015b e 2015c) possibilitando, assim, a investigação do padrão IEC 61850 e do CIM que ampliaram os horizontes do conhecimento com relação às tecnologias de comunicação e informação. Houve, também, ganho de conhecimento no desenvolvimento de novos algoritmos de operação da *smart grid*. Adicionalmente, o ambiente desenvolvido pode ser inicialmente utilizado como simulador para treinamento de funcionários das concessionárias de energia elétrica tanto quanto sua utilidade pode ser ampliada em direção à operacionalidade do sistema de distribuição, uma vez que suas potencialidades

tornaram-se evidentes durante a avaliação dos algoritmos propostos (LEITE; MANTOVANI, 2016a) (LEITE *et al.*, 2016b).

## REFERÊNCIAS

DEILAMI, S.; MASOUM, A. S.; MOSES, P. S.; MASOUM, M. A. S. Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grid to minimize power losses and improve voltage profile. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Piscataway, v. 2, n. 3, p. 456-467, 2011.

CHO, H. S.; YAMAZAKI, T.; HAHN, M. Determining location of appliances from multi-hop tree structures of power strip type smart meters. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, New York, v. 55, n. 4, p. 2314-2322, 2009.

NIYATO, D.; WANG, P.; HOSSAIN, H. Reliability analysis and redundancy design of smart grid wireless communications system for demand side management. **IEEE Wireless Communication**, Piscataway, v. 19, n. 3, p. 38-46, 2012.

QIU, H. M.; GAO, W.; CHEN, M.; NIU, J. W.; ZHANG, L. Energy efficient security algorithm for power grid wide area monitoring system. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Piscataway, v. 2, n. 4, p. 715-723, 2011.

LEON, R. A.; VITTAL, V.; MANIMARAN G. Application of sensor network for secure electric energy infrastructure. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Piscataway, v. 22, n. 2, p. 1021-1028, 2007.

PALENSKY, P.; DIETRICH, D. Demand side management: demand response, intelligent energy systems, and smart loads. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, Piscataway, v. 7, n. 3, p. 381-388, 2011.

MOHSENIAN-RAD, A. H.; LEON-GARCIA, A. Distributed internet based load altering attacks against smart power grids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Piscataway, v. 2, n. 4, p. 667-674, 2011.

BYUN, J.; HONG, I.; KANG, B.; PARK, S.A Smart energy distribution and management system for renewable energy distribution and context-aware services based on user patterns and load forecasting. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, New York, v. 57, n. 2, p. 436-444, 2011.

KANCHEV, H.; LU, D.; COLAS, F.; LAZAROV, V.; FRANCOIS, B. Energy management and operational planning of a microgrid with a pv-based active generator for smart grid application. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, New York, v. 58, n. 10, p. 4583-4592, 2011.

LIGHTNER, E. M.; WIDERGREN S. E. An orderly transition to a transformed electricity system. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Piscataway, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2010.

SINGH, N.; KLIOKYS, E.; FELDMANN, H.; KUSSEL, R.; CHRUSTOWSKI, R.;

JOBOROWICZ, C. Power system modeling and analysis in a mixed energy management and distribution management system. **IEEE Transactions on Power Systems**, Piscataway, v. 13, n. 3, p. 1143-1149, 1998.

LEE, G. M.; SU, D. H. Standardization of smart grid in ITU-T. **IEEE Communications Magazine**, Piscataway, v. 51, n. 1, p. 90-97, 2013.

CESPEDES, R. A reference model for the electrical energy system based on smart grids. In: TRANSMISSION AND DISTRIBUTION: LATIN AMERICA CONFERENCE AND EXPOSITION (T&D-LA), 6, 2012, Montevideo. **Proceedings of the...** Montevideo: IEEE/PES, 2012. P. 1-6.

GLOVER, J. D.; SARMA, M. S.; OVERBYE, T. J. **Power system analysis and design**, 5.ed. Stamford: Cengage Learning, 2010. p.759–769.

FAN, J.; BORLASE, S. The evolution of distribution. **IEEE Power and Energy Magazine**, Piscataway, v. 7, n. 2, p. 63-68, 2009.

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S. **Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS - Energy Management System) para Rede Elétrica Inteligente (Smart Grid)**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Ilha Solteira, 2015a

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S. Development of a Smart Grid Simulation Environment, Part I: Project of the Electrical Devices Simulator. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, vol. 26, n.º 1, pp. 80-95, 2015b.

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S. Development of a Smart Grid Simulation Environment, Part II: Implementation of the Advanced Distribution Management System. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, vol. 26, n.º 1, pp. 80-95, 2015c.

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S. Distribution System State Estimation Using the Hamiltonian Cycle Theory. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, p. 366-375, 2016a.

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S.; DOKIC, T.; YAN, Q.; CHEN, P. -C.; KEZUNOVIC, M.. The impact of time series-based interruption cost on online risk assessment in distribution networks. In: 2016 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition Latin America (PES T&DLA), 2016, Morelia. **Proceedings of the...** Morelia, IEEE/PES, 2016b. P. 1-6.