

Tupã: Um Arcabouço de Comunicação Para o uso Racional de Energia Elétrica

Rodrigo Gonçalves Leite, Yona Lopes

Resumo— A demanda por energia elétrica tem aumentado constantemente nos últimos anos. No entanto, apesar do surgimento de novas opções, a principal solução para o aumento da demanda ainda envolve a construção de novos empreendimentos para geração de energia elétrica. Esse trabalho propõe um arcabouço de comunicação que permita a solução deste problema por uma perspectiva diferente. A proposta, intitulada Tupã, objetiva realizar o gerenciamento pelo lado da demanda otimizando o consumo elétrico, permitindo que os consumidores possam tomar decisões eficazes sobre seu consumo. Além disso, o arcabouço propõe o uso de mensagens modeladas de forma mais leve com o uso de um método de cache nas requisições. O arcabouço foi testado e seus resultados relacionados a responsividade são apresentados com intervalo de confiança de 95%.

Palavras-Chave— Gerenciamento pelo lado da demanda, Redes Elétricas Inteligentes

Abstract— The demand for electricity has increased steadily in recent years. However, despite the emergence of new technological options, the main solution to this increase in demand continues to be the construction of new power generating facilities. This paper proposes a communication framework that approaches this problem from a different perspective. The proposal, entitled Tupã, performs management on the demand side optimizing power consumption efficiently, allowing consumers to make effective decisions. Moreover, the framework employs the use of light-weight messages paired with a caching mechanism. The framework has been tested and results related to responsiveness are presented with 95% confidence interval.

Keywords— Demand-side management, Smart Electrical Grids

I. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico da sociedade brasileira, na primeira década do século XXI, veio acompanhado de outro fenômeno, o aumento da demanda energética [1]. A abordagem tradicional para a solução do aumento da demanda energética envolve aumentar também a geração de energia. A construção de novas unidades de geração, cada vez mais modernas e eficientes, agem nesse sentido. No entanto, esta não costuma ser uma solução barata. Os custos, prazos e processos envolvidos na realização deste tipo de empreendimento demandam muitos recursos. Normalmente, devido ao porte desse tipo de construção, não só questões ligadas a engenharia civil ou elétrica são fatores decisivos para a construção como também fatores ambientais.

Esse trabalho visa resolver o desafio relacionado ao aumento da demanda por energia otimizando o consumo elétrico permitindo assim postergar investimentos na ampliação da

geração de energia. É proposto o Tupã, um arcabouço de comunicação que permite, com o auxílio do consumidor, a diminuição da demanda por energia elétrica em determinados períodos. Para isso, a proposta permite a instrumentalização dos consumidores de forma que estes possam tomar decisões eficazes sobre o consumo de energia elétrica. Propõe-se que os equipamentos residenciais sejam um ponto de extensão do sistema elétrico de forma que opções de consumo possam ser apresentadas ao consumidor. Questões como transparência na informação sobre os custos, e acesso a informações em tempo real são o foco do projeto. O arcabouço proposto visa eficiência, e com isso propõe um modelo de mensagens que atenda a uma rede com alto tráfego. As mensagens propostas permitem que seja realizado o cache das requisições tornando o arcabouço mais leve. Foram realizados testes de responsividade e o método com cache alcançou até 5000 requisições por segundo utilizando um único servidor.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção II apresenta brevemente os conceitos relacionados a *smart grids* e resposta a demanda, ambos servem de sustentação teórica para a pesquisa. Em seguida, na Seção III, é feita uma análise sobre os principais trabalhos relacionados. A proposta Tupã é apresentada na Seção IV, onde a arquitetura, seus componentes e modelos de comunicação são detalhados. Em seguida, a Seção V apresenta as ferramentas utilizadas para implementação da proposta, o ambiente, a descrição dos experimentos e os principais resultados obtidos com o Tupã, assim como a análise dos valores encontrados. Por fim, a Seção VI conclui a pesquisa, ressaltando os objetivos alcançados, além de alguns trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos.

II. REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES E A RESPOSTA A DEMANDA

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) vem passando por um processo de automação e modernização com as redes elétricas inteligentes, também conhecidas como *Smart Grids*. A proposta principal das redes elétricas inteligentes é realizar a modernização da infraestrutura de energia elétrica incorporando ferramentas computacionais e novas tecnologias.

Uma das principais mudanças causadas pela implantação desta nova arquitetura é a adoção de um modelo de comunicação bidirecional onde um número maior de componentes troquem informações constantemente e trabalhem de forma descentralizada [1]. Logo, tem-se a integração do sistema das concessionárias com as residências e seus dispositivos automatizados viabilizando um modelo de interação inteligente que permitirá o consumo mais racional de energia elétrica. A iniciativa que torna possível esta integração é

Rodrigo Gonçalves Leite, Escola Superior de Tecnologia da Informação, Instituto INFNET, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, Yona Lopes, Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói-RJ, E-mails:gunisalvo@gmail.com, yonalopes@id.uff.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERJ.

chamada Infraestrutura de Medição Avançada - *Advanced Metering Infrastructure* (AMI). A AMI tem como objetivo fazer a coleta automatizada do consumo elétrico residencial. Os medidores de energia residenciais tradicionais, eletromecânicos, são substituídos por equipamentos permanentemente conectados a rede, os medidores inteligentes que passam a comunicar em tempo real com concessionária de energia elétrica.

Outras mudanças advêm da implantação das *smart grids*, como o uso de veículos elétricos ou automação na resposta a faltas elétricas, porém, o enfoque desse trabalho é relacionado a AMI, suas possibilidades e a integração que ela oferece entre concessionária e consumidor.

Esta nova forma de interagir com o consumidor está em discussão em muitos governos [2]. No caso particular do governo brasileiro observa-se a proposta da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) pela opção de um novo modelo de tarifação conhecido como tarifa branca [3]. O modelo de cobrança tradicional é determinado pelo consumo total em um mês, a tarifa branca estabelece faixas de preço por horário definidos. Desta forma, pode-se desestimular o consumo em momentos de pico onde o sistema elétrico está sobrecarregado, para isso, implementa-se uma tarifa mais cara nesse horário. Tradicionalmente a tarifa branca obedece a horários pré-definidos baseados em uma base histórica. No caso da *Smart Grid* este modelo pode ser extrapolado para um cálculo do custo em tempo real, já que todo o sistema será capaz de inferir seu estado atual de forma a tornar o mecanismo mais inteligente e eficiente.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Um das principais mudanças advindas das *Smart Grids*, a AMI, é também um dos desafios mais discutidos na literatura. Um dos pontos mais abordados para sua implementação é relacionado a interoperabilidade dos equipamentos e medidores inteligentes com a concessionária [4]. Nesse contexto o uso da norma IEC 61850 e de propostas que fazem adaptações na norma surgem como solução [4], [5], [6].

Sucic et al. [7] abordam o uso da norma IEC 61850 [8] como solução e apoiam iniciativas relacionadas a *Internet of Things* (IoT), empregando o termo *Internet of Energy* (IoE) para a AMI. Os autores ressaltam a necessidade do uso desta norma na medida em que a AMI interliga-se com sistemas de automação de subestação. Buchholz e Styczynski [9], apesar de apoiarem o uso da norma IEC 61850 propõem que poucos dados sejam enviados pela AMI. Os autores ressaltam que a quantidade de pontos descritos na norma foi especificada para subestações e que a AMI pode ter uma descrição menos detalhada para evitar o tráfego de informações menos relevantes que apenas aumentariam o custo de processamento computacional e o tráfego de rede.

Abordagens que defendem o uso de *Service Oriented Architecture* (SOA) como paradigma para organizar e utilizar informações que podem entrar sob o controle de diferentes domínios na AMI também são discutidas. Tanto Liu et al. [5], como Feuerhahn et al. [6] apresentam no detalhamento de suas propostas um sistema distribuído no modelos de uma SOA tradicional. Além disso, Buchholz e Styczynski [9] apontam o potencial da coleta de dados para alimentar outros sistemas de apoio a decisão.

Todos estes estudos tinham como enfoque os operadores do SEP. A proposta desse artigo apoia o uso de sistemas de *software* baseados em SOA porém o enfoque está em ferramentas de apoio a decisão voltadas para os consumidores residenciais.

IV. A PROPOSTA TUPÃ

Nesse artigo propõe-se o arcabouço Tupã, que visa permitir que mensagens sejam facilmente recebidas por sistemas computacionais embarcados nos eletrodomésticos ou em tomadas inteligentes de forma a permitir o consumo racional de energia. Para isso, o arcabouço inclui um modelo de mensagens que objetiva ser leve o suficiente para atender a uma rede com alto tráfego e ao mesmo possuía informações suficientes para que aplicações inteligentes das *smart grids* sejam implementadas.

Optou-se pelo uso do modelo IoT para dar autonomia para os dispositivos e para que o processo de leitura do consumo seja mais transparente e fiel. Além disso, com o modelo IoT a AMI pode tanto utilizar uma infraestrutura própria da concessionária até o consumidor, como pode aproveitar a infraestrutura existente de um provedor de serviço de Internet, abordagem que também está sendo discutida atualmente. O arcabouço Tupã pode ser implementado em ambos os casos de forma eficiente.

Uma visão geral dos componentes participantes do processo de comunicação está ilustrada na Figura 1. O eletrodoméstico inteligente está conectado a rede local residencial do consumidor. Trata-se de um sistema computacional embarcado interligado a aparelhos comuns como geladeiras, televisores ou máquinas de lavar roupas. Os dispositivos comunicam através de um roteador e a rede de comunicação até a concessionária e seus sistemas de monitoramento e supervisão.

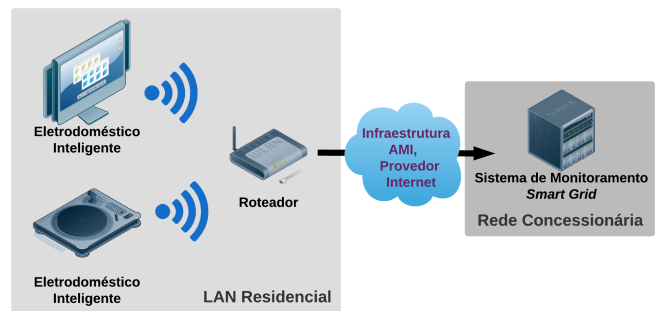


Fig. 1

COMPONENTES DO PROCESSO DE INTEGRAÇÃO DA PROPOSTA TUPÃ.

Essa conexão permite uma série de automatizações. Os equipamentos, como uma máquina de lavar, podem ser programados para funcionar apenas nos momentos em que a tarifa energética é mais barata. Além disso, a disponibilidade de informações também é um recurso importante. Um equipamento que gaste muita energia, como um aparelho de ar condicionado por exemplo, pode comunicar ao consumidor que a demanda está alta, o que pode resultar em aumento da tarifa, e desaconselhar seu uso.

Além do valor agregado ao consumidor as informações individuais de cada dispositivo oferecem um mapa em tempo

real do perfil de consumo para a concessionária. Assim os eletrodomésticos inteligentes podem reportar informações relevantes para os sistemas supervisórios das concessionárias e auxiliar na tomada de decisão.

A. Mensagens do Arcabouço

O primeiro modelo, que usa a infraestrutura existente dos provedores de serviço de internet, vai exigir que o arcabouço troque mensagens leves, já que, como ilustra a Tabela I, existe uma forte tendência de crescimento de dispositivos permanentemente conectados a rede mundial de computadores [10].

Categoria	2013	2014	2015	2020
Automóveis	96,0	189,6	372,3	3.511,1
Consumidor	1.842,1	2.244,5	2.874,9	13.172,5
Empresas	395,2	479,4	623,9	5.158,6
Cadeia Produtiva	698,7	836,5	1.009,4	3.164,4
Total	3.032,0	3.750,0	4.880,6	25.006,6

em milhões de unidades

TABELA I

TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DE DISPOSITIVOS CLASSIFICADOS COMO PARTICIPANTES DO MODELO IOT.

A explosão do número de dispositivos participantes do modelo IoT nos próximos anos confirma a necessidade de criação de um arcabouço simples. O equilíbrio entre tamanho final da mensagem e a relevância do dado exposto é o objetivo mais importante do arcabouço Tupã. Apesar de simples, o modelo não pode excluir muitas informações e assim limitar as possibilidades de decisão dos equipamentos que as consumirão. Por outro lado, se for demasiadamente prolixo pode impor uma sobrecarga de processamento ao sistema embarcado do eletrodoméstico ou contribuir para o aumento desnecessário no tráfego de rede.

Para isso, propõe-se a implementação das mensagens no formato *JavaScript Object Notation* (JSON) de forma a ser muito mais leve do que os protocolos tradicionais implementados. Além disso, propõe-se o uso de informações específicas, detalhadas a seguir, a fim de atender as necessidades descritas sem sobrecarregar a rede com informações pouco relevantes. Campos que permitam que a mensagem fique em cache serão muito importantes no modelo proposto para que o tempo de resposta das requisições se mantenha bom mesmo com um alto número de requisições. Neste caso optou-se por não ultrapassar o valor de 200ms definido como limiar crítico para aplicações na AMI [1]. Dois relatórios do modelo são descritos nesse trabalho e testados.

O primeiro é o relatório periódico do estado da rede elétrica, chamado de RELATÓRIO SMART GRID. Todas as informações pertinentes as tomadas de decisão por parte do consumidor devem estar presentes nessa mensagem. A Figura 2 apresenta seu conteúdo no formato JSON. O campo custo da tarifa elétrica é primordial para estimular o consumo consciente de energia. O anúncio prévio do momento da próxima atualização dos dados, por sua vez, permite a implementação de algoritmos que não façam consultas desnecessárias ao servidor. Também foi incluído um campo para o estado do sistema elétrico que permita a criação de um sistema de alarmes que trafegue mensagens diretamente do sistema de transmissão de energia para o consumidor.

```
{
  "tarifa" : 3.021,
  "tipo" : "RESIDENCIAL_A",
  "bandeira" : "BRANCA",
  "estadoSistema" : "NORMAL",
  "ultimaAlteracao" : "2015-09-01T10:30:00",
  "proximoRelatorio" : "2015-09-01T10:45:00"
}
```

Fig. 2

RELATÓRIO SMART GRID, ARCABOUÇO TUPÃ

Propõe-se também que o arcabouço deva, de alguma forma, retroalimentar o sistema elétrico com informações relevantes. Por esta razão o arcabouço define a mensagem RELATÓRIO DE CONSUMO descrita na Figura 3. Sua composição permite o rastreamento individual do equipamento através da identificação do usuário, a empresa concessionária que provê a ligação ao sistema elétrico de potência e o código do equipamento. O tempo de consumo e a quantidade de energia consumida (em quilowatt hora, por exemplo) estão registrados para possibilitar a classificação de perfis de consumo.

```
{
  "codigoUsuario" : "9988776655443322-1",
  "concessionaria" : "LightSE_SA",
  "equipamento" : "E-TI-001",
  "consumo" : 674.2,
  "tempoOperacao" : 1291021
}
```

Fig. 3

RELATÓRIO DE CONSUMO DO DISPOSITIVO ELETRODOMÉSTICO INTELIGENTE, ARCABOUÇO TUPÃ

Estas informações permitem a aplicação de ferramentas modernas de processamento de dados como mineração de dados ou aprendizado por máquinas. Abre-se a possibilidade para o desenvolvimento de uma ampla gama de novas ferramentas de gestão da rede [9].

V. EXPERIMENTOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

O foco dos experimentos de teste é a implementação de protótipos que exercitem este modelo de troca de mensagens.

Para este fim propõe-se a construção de dois protótipos. Um sistema de *software* embarcado para que um dispositivo eletrodoméstico tome decisões de forma autônoma e um serviço de *web* que produzirá as informações necessárias para este fim.

A. Protótipo de Dispositivo Embarcado

Optou-se por um projeto simples e barato. Sua simplicidade permite um estudo detalhado de suas interações com as mensagens do arcabouço sem a necessidade de explicações longas sobre o funcionamento de seu circuito. Trata-se de um bocal para lâmpadas comuns acoplado a um micro controlador da família Arduino (ATMega2560) através de um relé de 1 canal. Um sensor de efeito Hall encarrega-se de medir a corrente elétrica instantânea permitindo a aferição do gasto de energia.

A plataforma de programação Arduino trabalha a linguagem de programação C++, e provê uma *Application Programming Interface* (API) bem estruturada para seus componentes de *hardware*. Porém, em um ambiente com poucos recursos, não existe espaço para a criação de um sistema de *software* elaborado. Assim a estratégia de projeto foi reduzir seu funcionamento a uma máquina de estados no modelo proposto pela *Unified Modeling Language* (UML). Este tipo projeto foi conveniente por tratar-se de um sistema simples onde não existem requisitos de processamento complexos. O produto final para o caso em particular pode ser visto na Figura 4.

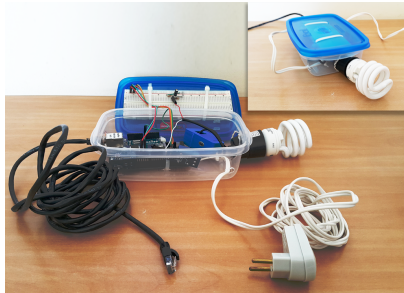


Fig. 4

IMAGEM REAL DO PROTÓTIPO BLANKA

O sistema de *software* embarcado, instalado no Arduino realiza o ciclo normal de conexão a uma rede de comunicação. Uma vez realizado o processo de SETUP o serviço *web* é consultado e a tarifa é descoberta, neste momento o dispositivo encontra-se no estado de ESPERA. Se o valor obtido for abaixo do limiar pré-estabelecido (para este exemplo R\$ 5,00 por quilowatt hora) e o estado da rede elétrica estiver normal o bocal luminoso é ligado, ou seja o dispositivo transita para o estado de OPERAÇÃO.

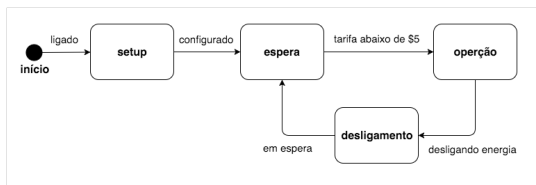


Fig. 5

DIAGRAMA DE ESTADO PROTÓTIPO BLANKA

Neste momento o dispositivo registra o consumo de energia para que possa reporta-lo até que seja hora de cessar a operação. Periodicamente o dispositivo consulta o serviço *web* para aferir o estado da rede e alterações nos custos de tarifa elétrica. Caso alguma destas variáveis estejam fora dos padrões o circuito desliga e um relatório de consumo é enviado ao servidor, este estado é chamado de DESLIGAMENTO. O dispositivo retorna ao estado de ESPERA e passa a consultar o servidor até que os parâmetros permitam retornar ao estado de OPERAÇÃO.

B. *Tupã as as Service*

Do outro lado do processo de comunicação construiu-se um serviço web que seja capaz de mediar a consolidação dos dados dos sistemas informatizados das concessionárias de energia e do sistema *Smart Grid*.

O protótipo foi construído para exercitar sua capacidade de atender a um número elevado de requisições por segundo consumindo e gerando mensagens relativamente pequenas. Dois mecanismos em particular foram explorados para observar este comportamento. Foram consideradas duas implementações e ambas contaram com mecanismos de *cache* para aliviar a carga de processamento do servidor. A primeira implementação foi construída sobre o protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) trafegando na camada de aplicação. Ressalta-se que, neste caso, as possibilidades de integração são enormes uma vez que existe um suporte extenso de ferramentas de *software* preparadas para integrar-se a esta tecnologia. A segunda tem como alicerce o protocolo *User Datagram Protocol* (UDP) da camada de transporte. Esta implementação troca facilidade de integração por um consumo menor de recursos de rede.

Protocolo	Tamanho Médio Envelope	Tamanho Médio Mensagem
UDP	68 bytes	148 bytes
HTTP	402 bytes	582 bytes

TABELA II

COMPARAÇÃO ENTRE ENVELOPES DE REDE

A Tabela II permite observar o impacto que esta escolha tem sobre o tamanho final da mensagem. Como o objetivo é incluir apenas as informações relevantes, observa-se que é possível despendar mais recursos para atender o protocolo portador que para o conteúdo da mensagem. Esta informação também é útil para questionar a eficácia de certos mecanismos de rede. Um exemplo é o resequenciamento de pacotes disponível no protocolo *Transmission Control Protocol* (TCP), protocolo de transporte usual para o HTTP. Se o conteúdo de uma mensagem do arcabouço cabe confortavelmente em um único pacote de rede não existe utilidade prática em manter informações que permitam seu sequenciamento apenas para satisfazer a conformidade com o modelo de transmissão.

C. *Cenário e Resultados*

A robustez e velocidade deste tipo de solução foi testada de forma tradicional, submetendo o serviço a tráfegos intensos de rede com níveis de severidade diferentes. Optou-se por manter o foco no serviço de consulta de mensagens. Para facilitar o processo de repetição dos testes foi utilizado um serviço de *Cloud Computing*. Os dados coletados para esta análise utilizaram a infraestrutura detalhada na Tabela III.

Item	Servidor	Cientes
Processador	1.8 GHz	1.8 GHz
Memória	1 GB	512MB
Sistema Operacional	Ubuntu 14.04 x64	Ubuntu 14.04 x64

TABELA III

INFRAESTRUTURA DE TESTE PARA CLIENTE E SERVIDOR

Para comprovar a efetividade da proposta foi realizado um teste de responsividade com um alto volume de acessos. Por responsividade entende-se a velocidade em que cada requisição é atendida. Para isso, as máquinas designadas como clientes simularam através de *software* a existência de um numero crescente de dispositivos. Para cada bateria de testes foram realizadas 10.000 requisições para consultar o RELATÓRIO SMART GRID para um cliente específico. A

cada iteração elevou-se o número de clientes simultâneos aumentando a carga processada. Este experimento permite uma análise abrangente de um sistema de consultas.

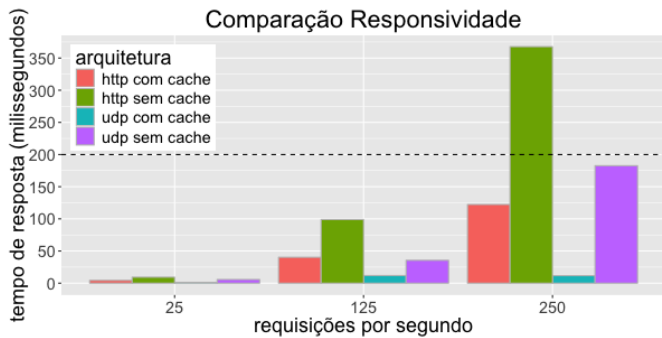


Fig. 6

COMPARAÇÃO DA RESPONSABILIDADE DO SISTEMA ENTRE AS INTERFACES HTTP E UDP.

A Figura 6 apresenta a comparação entre a utilização das diferentes camadas de rede. Ficam claras as diferenças das ordens de grandeza entre cada situação. A eficiência do protocolo de comunicação foi comprovada já que nos casos com cache o tempo de resposta não ultrapassou o valor de 200ms definido como limiar crítico para aplicações na AMI [1] e com isso comprovou-se também a importância do mecanismo de cache.

O HTTP, por ser um protocolo mais elaborado, paga o preço desta sofisticação através do aumento do tamanho de cada mensagem. Sendo assim, verificou-se a importância da definição de mensagens menores já que o HTTP sem cache foi o único que ultrapassou o limiar temporal quando submetido a muitas requisições.

A eficiência do mecanismo de cache também está comprovada pois mesmo submetida a muitas requisições por segundo os métodos com cache tiveram um ótimo resultado não ultrapassando 125ms de resposta para HTTP e 12ms para UDP. Além disso, mesmo com uma mensagem mais custosa uma resposta cacheada por HTTP tende a ter um melhor desempenho que uma mensagem completa enviada através do protocolo UDP na medida em que o tráfego se intensifique.

Ressalta-se que a definição de uso entre HTTP e UDP dependerá diretamente do uso da AMI. O HTTP tem uma maior possibilidade de integração com outros sistemas, porém quando exposto a muitas requisições atinge um maior tempo de resposta, que apesar de muito maior do que o UDP ainda possui valores dentro do limiar aceitável quando usado com cache.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Foi proposto o arcabouço Tupã para possibilitar o controle da demanda por energia pelo lado do consumidor. Para isso, o modelo IoT foi usado como filosofia principal da construção do arcabouço. Foi proposto um modelo de mensagens leves de forma a permitir que a solução seja empregada mesmo com alto tráfego de informações. Além disso, a proposta inclui um modelo com campos que permitem que a mensagem fique em cache. Esse método aumentou ainda mais a eficiência do modelo.

Esta estrutura foi validada com a construção e avaliação do protótipo. Do lado do cliente foi desenvolvido um protótipo de eletrodoméstico inteligente que respeita as limitações computacionais que serão encontradas, como baixo poder de processamento e memória. Associado a esta solução de *hardware* foi implementado um sistema de *software* embarcado que operacionalizou propostas frequentes de pesquisas sobre o consumo racional de energia, como automatização do processo de operação de acordo com a tarifa elétrica.

O protótipo foi ligado em condições reais. Obedeceu a todos os requisitos de conexão com uma rede heterogênea como é o caso da maioria dos consumidores residenciais. Do outro lado foi desenvolvido um serviço de chamadas remotas que deveria ser capaz operar tanto na camada de aplicação através do protocolo HTTP como na camada de aplicação através de chamadas UDP. Esta especificação da proposta foi implementada respeitando requisitos de cacheamento de informações e compatibilidade de estruturas de dados entre estes diferentes métodos de acesso.

As medições feitas nesta solução indicam uma capacidade de atender por volta de 1.700 requisições HTTP ou 5.000 requisições UDP em um segundo graças ao mecanismo de cache. Todas estas marcas foram alcançadas em um servidor com 1 Gb de memória RAM e 1,8 GHz de processamento. Os testes foram realizados com 95% de intervalo de confiança e comprovaram a eficiência da proposta.

REFERÊNCIAS

- [1] Y. Lopes, R. H. Frazão, D. A. Molano, M. A. dos Santos, F. G. a. Calhau, C. A. M. Bastos, J. S. B. Martins, and N. C. Fernandes, "Smart Grid e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico," in *Minicursos do XXX Simposio Brasileiro de Telecomunicações*, 1st ed. (SBTr), Sociedade Brasileira de Telecomunicações, 2012, pp. 1–44.
- [2] J. Momoh, *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*. Wiley-IEEE Press, 2012.
- [3] ANEEL, "Tarifa branca," Agência Nacional de Energia Elétrica, Tech. Rep., 2013.
- [4] P. Bredillet, E. Lambert, and E. Schultz, "CIM, 61850, COSEM standards used in a model driven integration approach to build the smart grid service oriented architecture." Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2010.
- [5] N. Liu, J. Chen, H. Luo, and W. Liu, "A preliminary communication model of smart meter based on iec 61850." IEEE Computer Society, 2011.
- [6] S. Feuerhahn, M. Zillgith, C. Wittwer, and C. Wietfeld, "Comparison of the communication protocols DLMS/COSEM, SML and IEC 61850 for smart metering applications." Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2011.
- [7] S. Sucic, S. Rohjans, and W. Mahnke, "Semantic smart grid services: Enabling a standards-compliant internet of energy platform with IEC 61850 and OPC UA." Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2013.
- [8] I. 61850, in *IEC 61850: Communication networks and systems for power utility automation*. International Electrotechnical Commission, 2002.
- [9] B. M. Buchholz and A. Styczynski, "Applying IEC standards for communication and data management as the backbone of smart distribution." Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2012.
- [10] Gartner, "Gartner says 4.9 billion connected things will be in use in 2015," Gartner Group, Tech. Rep., 11 2014.