

# Aproximação Markoviana para modelagem de estados de consumo de energia elétrica em residências

J. R. SICCHAR, UEA, R. C. DE FREITAS, UEA, C. T. DA COSTA JR., UFPA, H. M. DE OLIVEIRA, UFPE

**Abstract**—This paper presents a new approach in modeling the energy consumption for connecting residential feeders through a special stochastic model: Markov chains applied to load analysis for Low Voltage Smart Grids. The proposed model performs a step discretization of consumption levels and consumer profile for each residential feeder. The results indicate the validation of such a residential energy model, showing also that the prospect consumption of residential consumers can be used in the planning the own energy consumption by considered a random profile in each month.

**Index Terms**—Residential Consumption Model- Markov Chains- Smart Grid.

## I. INTRODUÇÃO

OS principais modelos de *Smart Grid* (SG) desenvolvidos consideram e projetam benefícios interessantes para o consumidor final, bem como para as concessionárias de energia. Além disso, tais modelos abrem várias oportunidades na forma de serviços específicos, como indicam os requisitos sugeridos para SG pelo *National Institute for Standards and Technologies*- NIST [6]. Entre eles, destacam-se aqueles referentes ao tratamento do consumo e previsão de energia elétrica, como base para os serviços de programação de consumo e venda de pacotes de energia sobre medida, para o usuário final.

Essas oportunidades conformam novos requisitos nos arquétipos e nas arquiteturas que vem sendo implementadas no mundo e no Brasil, segundo a literatura específica [7], um indicativo da relevância atual desta linha de pesquisa, na forma de desenvolvimento de inteligências embarcadas nas arquiteturas das SG [2].

Na evolução das redes inteligentes, observam-se também as implementações de modelos e arquiteturas dedicados para baixa tensão- BT, ou seja, as SG- de BT. Podendo se destacar, nesse contexto, as experiências asiáticas descritas em [7], nas

quais se delineiam as implementações de dois modelos de SG focadas para o gerenciamento de consumo de energia elétrica, água, gás e telefonia residencial, mas sem apresentar nenhum recurso robusto para o tratamento e previsão de consumo de energia, que apresentam um perfil “customizado” e aleatório em cada consumidor residencial. No Brasil, uma implementação interessante observa-se em [5], na qual se têm um sistema gerenciador de consumo de energia para SG de BT, constituída por uma arquitetura modular digital para aquisição e transmissão de sinais de consumo de energia, bem de demais serviços específicos, incluindo a supervisão de consumo, e o balanceamento das fases de ligação residências e do transformador de BT, entre outros.

Particularmente, dentro do serviço específico de balanceamento de fases, o qual constitui uma parte do serviço de análise de consumo [6] surge a necessidade do desenvolvimento de modelos matemáticos de tratamento e previsão de consumo de energia para residenciais, que possam posteriormente ser inseridos na forma de inteligências embarcadas no sistema de supervisão dos modelos de SG de BT desenvolvido. Uma sugestão interessante foi apresentada por Siti [9], empregando uma “máquina Fuzzy” do tipo Sugeno a fim de estabelecer níveis permitidos na variação de sobrecarga nas fases de ligação das residências. Tenta-se, assim, identificar um mecanismo para o balanceamento de fases das mesmas. Mas a mesma experiência considera em si, os valores instantâneos de consumo, sem poder desenvolver um perfil característico mais realista, com base no histórico mensal, ou anual de uso de energia elétrica, oferecendo uma série de comutações eletrônicas de curtíssima duração de balanceamento de fases.

Por outro lado, vários modelos de tratamento e previsão de consumo residencial foram desenvolvidos, em função do histórico de consumo de energia de grandes setores geográficos (regionais, estaduais, distritais, por cidade) e por classes sócio-econômicas, destacando-se entre eles as aplicações dos modelos de regressão linear, adotados em várias concessionárias no mundo e no Brasil [1], em que se observa o ajuste de parâmetros dos modelos de previsão de consumo, em função do comportamento dinâmico de variáveis socioeconômicas, tais como: o índice do PIB local, preço do

---

Este trabalho teve o incentivo da FAPEAM-AM, Manaus, Brasil.  
 J. R. Sicchar, EST-UEA, Manaus (e-mail: [jvilchez@uea.edu.br](mailto:jvilchez@uea.edu.br)).  
 R. C. Freitas, EST-UEA, Manaus (e-mail: [rchoji@yahoo.com.br](mailto:rchoji@yahoo.com.br)).  
 C. Tavares Jr., ITEC-UFPA, Belém (e-mail: [cartav@ufpa.br](mailto:cartav@ufpa.br)).  
 H. M. de Oliveira, DES-UFPE, Recife (e-mail: [hmo@ufpe.br](mailto:hmo@ufpe.br)).

combustível, índice da inflação, quantidade e preço de eletrodomésticos, entre outros. Observa-se, deste modo, uma análise macro, para grandes setores, entre eles o residencial. Em alguns modelos para previsão de consumo de energia de Alta Tensão- AT, são consideradas além das costumeiramente empregadas, como variável de tratamento, o consumo dos grandes alimentadores de distribuição das Subestações abaixadoras de energia elétrica, das linhas de transmissão de Alta Tensão- AT, e nas Usinas geradoras de energia das concessionárias [3]. Está ausente, entretanto, uma análise de AT, nos modelos para previsão de consumo de BT, por uma questão de dificuldade de identificação do consumo efetivo procedente do setor residencial. Dificuldade esta que pode ser minimizada, em razão dos modernos sistemas de aquisição de dados e da infraestrutura de suporte de SG de BT.

Em função desse importante advento, e do perfil de consumo característico de cada residência (formado pelo histórico aleatório ao longo do tempo, e os diversos fatores que influenciam o comportamento de uso de energia residencial), o emprego de um algoritmo estocástico, com base em cadeias de Markov de probabilidade de salto, pode se tornar interessante a aplicação de um modelo eficiente, no tratamento de uso e previsão de consumo de energia elétrica. Assim, apresenta-se neste trabalho, o desenvolvimento de um modelo de consumo de energia elétrica residencial, baseado em cadeias de Markov, com o objetivo de demonstrar a eficiência de desempenho deste constituindo um modelo alternativo de consumo de energia, para inteligências embarcadas de gerenciamento de SG de BT.

Um benefício atrativo é oferecer uma previsão eficiente de consumo mensal baseada apenas no histórico real de uso de energia anual de períodos passados. Além de estabelecer uma ferramenta para a programação de uso de eletrodomésticos por horários diários, semanais e por temporadas. Isto oferece um novo instrumento matemático baseado nas probabilidades de ocorrência de cada estado de consumo estabelecido pelo comportamento dos consumidores, bem como uma análise micro de previsão de energia, considerando como base do fluxo do processo de consumo, cada residência, ou Unidade Consumidora Residencial- UCR e seu respectivo transformador do circuito de distribuição de BT.

O artigo é organizado como segue: na segunda seção, apresenta-se o estado da arte de implementações de modelos e arquiteturas de Smart Grids de BT no Brasil e no mundo; na terceira seção, mostra-se a modelagem de integração do algoritmo proposto com o sistema de gerenciamento da SG; na quarta seção apresenta-se, o desenvolvimento do modelo proposto; na quinta seção mostram-se os resultados do modelo consumo proposto e na última seção apresentam-se as conclusões.

## II. MODELOS DE SMART GRID RESIDENCIAIS

Modelos e arquiteturas de SG de BT para gerenciamento de consumo de energia elétrica em residências vêm sendo aplicados no Brasil e no mundo inteiro. Uma das implementações interessantes é aquela abordada por Wang [10], na qual se mostram alguns serviços sugeridos pelo NIST e pela *European Technologies Power- ETP*; o modelo consta de uma arquitetura com os seguintes componentes: a) sistema de configuração: implementa a lista de serviços específicos do consumidor final, e as facilidades o serviços: medição de consumo, produção e comércio de energia, operações de faturamento; b) medidores inteligentes: dispositivos para medição de consumo de gás, água, e eletricidades, coletando os dados para transferência às unidades de *display* e controle de atividades- DCUs- *display and control units*; c) redes de comunicação: empregada para a transferência de dados, do sistema de medição. Sugerem-se duas modalidades: Zigbee e PLC; d) base de dados e sistema de coordenação: o sistema de base de dados coleta as informações vindas de todos os modens PLCs, bem como a transferência de mensagens pelos mesmos. Já o sistema de coordenação organiza a transferência de dados entre as demais unidades coordenadoras, e a transferência de informações de programação de melhor uso de ar condicionado, e do mercado de energia; e) *web-site*: permite o acesso de múltiplos requerimentos de consumidores, planos diferenciados de venda de energia, como a modalidade pré-paga, opções de compra de energia de vários fornecedores, históricos de consumo e de transações passadas. A interligação desses elementos é ilustrada na Figura 1.

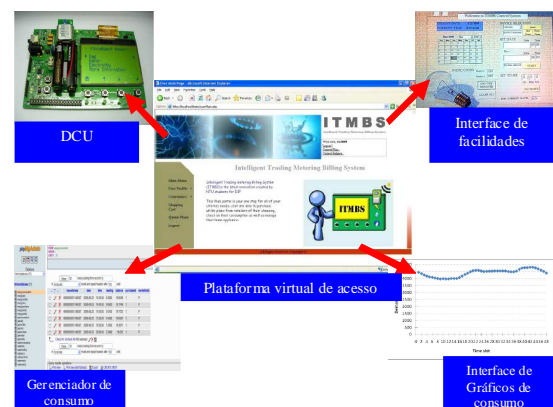


Fig. 1. Modelo de *Smart Grid* de BT segundo Wang [10].

Como detalhe especial o gerenciador de consumo desse modelo, mostra apenas os detalhes de consumo real dos consumidores residenciais, apresentados *on-line* via interface gráfica de consumo. Não existe, entretanto, um algoritmo especial para o tratamento e previsão de consumo de energia.

Um modelo conveniente, no Brasil, mostrado em Gomes [5], apresenta uma implementação semelhante ao caso anterior, mas com um diferencial importante: o serviço de balanceamento de fases de ligação nas residências e nas fases do transformador dessas residências, realizado a partir da

matriz de comutação indicada pela Unidade de Teleprocessamento- UT, e executado pela Unidade de Distribuição- UD, que também realiza a aquisição de dados de consumo de energia por fase de ligação. A supervisão de dados e atividades, bem como o gerenciamento central do sistema, são realizados pelo Centro de Supervisão e Controle – CSC. As mensagens de indicação de consumo mensal, avisos de corte, religamento e demais avisos, são transmitidos pelo Indicador Digital de Consumo- IDC. A arquitetura do modelo é mostrada na Figura 2.

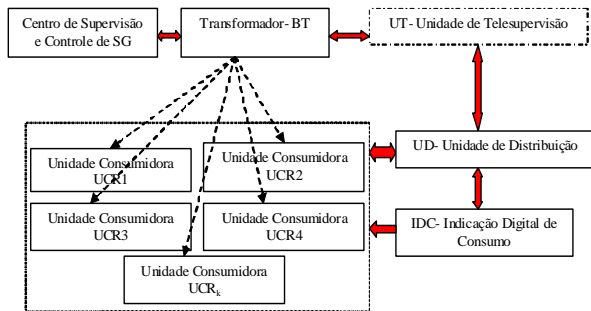


Fig. 2. Modelo de *Smart Grid* de BT segundo Gomes [5], [8].

A matriz de comutação eletrônica para balanceamento de fases de ligação oferece uma grande seqüência de comutações em pequenos espaços de tempo, ou seja, são geradas várias comutações nas fases, tendo-se assim um balanceamento instantâneo de fases, mas com duas principais desvantagens: i) balanceamento eficiente de curto espaço de tempo, tendo-se pouca robustez de suporte para médio e longo, horizontes de tempo; ii) possibilidade de comprometimento na segurança nas fases de ligação, em função do grande número de comutações eletrônicas, bem como a possibilidade de possíveis danos elétricos nas instalações elétricas internas, e eletrodomésticos.

### III. MODELAGEM DE INTEGRAÇÃO DO ALGORITMO DE MODELAGEM DE CONSUMO COM *SMART GRID* RESIDENCIAL

Em razão das desvantagens nos modelos de SG de BT indicadas anteriormente e pelos requisitos necessários sugeridos nas diretrizes do NIST [6] e da ANEEL [4] para os modelos de SG, o emprego de um algoritmo de modelagem e previsão de consumo de energia elétrica é justificado, em especial para o atendimento do consumo sob medida e programação de consumo inteligente direcionada ao consumidor final. Assim, a integração do algoritmo deve ser realizada no intuito de automatizar o fluxo de processo, compreendido entre a aquisição de dados de consumo até o balanceamento das fases de ligação [8]. Conforme mostrado na Figura 3, na qual se têm a arquitetura de SG de BT proposta por Gomes [5] no diagrama superior, interagindo com a inteligência embarcada de modelagem e previsão de consumo

de energia, na Unidade de Teleprocessamento-UT. Tal Inteligência é representada no diagrama inferior, em destaque. O fluxo de processo do algoritmo embarcado inicia com a ativação do procedimento “Análise de Consumo” que por sua vez aciona a sub-rotina “Aquisição de dados”, advindos de um banco de informação da UT. A seguir, é acionada a “Classificação Discreta de Consumo” para poder indicar os níveis dos estados discretos de consumo. Uma vez gerada essa classificação, aciona-se a “Programação de Cadeias de Markov” para realização do desempenho gráfico do modelo de consumo de energia, em cada fase de ligação residencial. Seguidamente se têm o acionamento da “Simulação de Validação” no qual se realiza de fato a verificação do desempenho dinâmico do modelo adotado.

Uma segunda etapa aciona a “Previsão de Consumo” e uma vez validada, o modelo adota em função da comparação analítica de desempenho dinâmico entre o desempenho do modelo, e o comportamento gráfico das medições reais de cada fase. O desempenho é estimado num período de coleta de dados entre vários anos. Assim a previsão de consumo é realizada, considerando-se as probabilidades de salto de ocorrência para cada estado discreto de consumo classificado. Após a previsão do consumo, se tem o acionamento da terceira etapa, o acionamento da “Matriz de Comutação de Fases” que consiste na obtenção da seqüência para balanceamento de fases de ligação, obtida a partir de uma máquina de inferência.

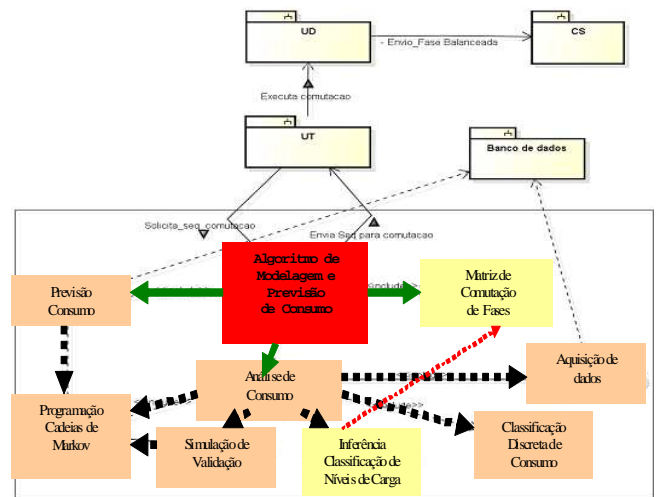


Fig. 3. Modelagem de Integração de um algoritmo de modelagem de consumo e *Smart Grid* de BT.

Neste trabalho, apresenta-se um algoritmo para modelagem de consumo de energia baseado em cadeias de Markov, em razão de poder processar a modelagem e previsão de uso de energia, com pouco uso de memória, contando com uma coleta de medição de consumo, em um período compreendido de quatro anos, em função do período disponível dos dados obtidos para a simulação do modelo.

#### IV. MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL BASEADO EM CADEIAS DE MARKOV

Em razão do comportamento aleatório das séries temporais do consumo residencial de energia elétrica constituir um processo estocástico é possível desenvolver um modelo alternativo para o consumo residencial de energia, para cada fase de ligação, bem como para as fases do circuito de distribuição de BT que alimenta as residências, em função das suas probabilidades de salto de ocorrência de determinados estados discretos de uso de energia. Dessa forma a proposta deste trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo *Markoviano* para tratamento e análise do uso de energia consumida, numa UCR de ligação trifásica. Essa modelagem pode acarretar um benefício interessante para a rede de distribuição de energia elétrica: a programação de consumo eficiente dos transformadores de BT dos circuitos residenciais, bem como dos alimentadores de AT, de forma a projetar a resposta de demanda sobre medida por parte da concessionária aos consumidores finais.

A modelagem do consumo via cadeias de *Markov* por meio do diagrama de transição de estados permite estabelecer, então, o estado de consumo, ao longo de um determinado período de tempo, e conseqüentemente sua respectiva previsão, em função apenas das probabilidades de incidências, ou de salto, de sucesso para um determinado estado discreto de consumo. Dessa forma, na Figura 4 se mostra o diagrama de transição de estados para consumo de energia de uma UCR, considerando três estados “ $X_i$ ” discretos de consumo: Baixo Consumo- BC, Consumo Médio- CM, e Alto Consumo- AC.

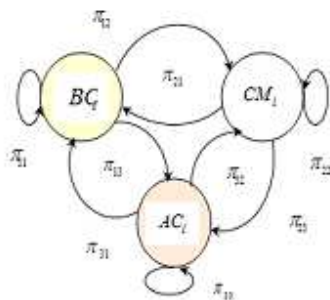


Fig. 4. Diagrama de transição de estados para o consumo residencial de energia. Quatro estados são considerados: BC, AC e CM, com suas respectivas probabilidades de transição.

Em função desses estados discretos, existem “ $\pi_{ij}$ ” combinações de transições probabilísticas de incidência desses estados. A transição de estados pode ser formulada pelas probabilidades condicionais, ou também, “ $n$  passos de probabilidades de transição”. Assim, um nível de consumo específico “ $X_k$ ” com transição atual “ $i$ ” determina, seu “ $X_{k+1}$ ” futuro estado de nível de consumo, através, do seu salto “ $j$ ”. Em outras palavras, a probabilidade de salto de transição de

um determinado estado de nível de consumo de uma fase “ $F$ ” de ligação residencial, depende *exclusivamente* de sua probabilidade de salto condicional “ $j$ ” baseada na sua probabilidade anterior “ $i$ ”, c.f. mostrada na equação:

$$p_{ij_F} = P\{X(k+1) = j | X(k) = i\} \quad (1)$$

Generalizando, pode-se estabelecer que para qualquer nível de consumo futuro “ $X_{k+n}$ ” em fases de ligação residencial, é determinada pela sua probabilidade de salto “ $j$ ” que por sua vez depende da probabilidade de salto “ $i$ ” do estado anterior “ $X_k$ ” de nível de consumo, como se denota na Equação (2).

$$p_{ij_F}^{(n)} = P\{X(k+n) = j | X(k) = i\} \quad (2)$$

em que deve ser observado que

$$p_{ij_F}^{(n)} \geq 0 \quad (3)$$

Notando que

$$\sum_{j=0}^M P_{ij_F}^{(n)} = 1 \quad (4)$$

$$\forall(i, j); n = 0, 1, 2, \dots$$

Quando a matriz de probabilidades de salto atingiu sua estacionariedade, ou seja, todas as combinações de transições realizadas, ocorrerem os estados de consumo previstos. Entretanto, se o processo ainda não atingiu sua estacionariedade, deverão acontecer “ $n$  passos” com várias iterações, como indica “(5)”.

$$p_{ij_F}^{(n)} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)} = \Pr\{X_n = k\} \quad (5)$$

em que se define

$$p_{ij_F}^{(n)} = \begin{cases} 1 & \text{se } i = j \\ 0 & \text{se } i \neq j \end{cases} \quad (6)$$

A estacionariedade do processo é obtida com a iteração sucessiva da expressão (5)

$$p_F^{(n)} = \underbrace{P \times P \times P \times \dots \times P}_{"n" \text{ vezes}} = P^n \quad (7)$$

As probabilidades de transição de todos os estados de consumo presentes e futuros (“ $i$ ”, “ $j$ ”) para uma determinada fase de ligação em “ $n$ ” passos, é denotada por (8).

$$p_{ij_F}^{(n+m)} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^{(n)} P_{kj}^{(m)} \quad (8)$$

$\forall(n, m) \geq 0$

Uma forma conveniente de mostrar todas as probabilidades de transição de passo “ $n$ ” é a mostrada na “Equação (9)”, em que se tem um modelo *markoviano* para o consumo residencial de energia elétrica de “ $F$ ” fases “ $P_F^{(n)}$ ”, indicando a matriz de transição e considerando o estado inicial arbitrário.

$$P_F^{(n)} = \begin{bmatrix} p_{F00}^{(n)} & p_{F01}^{(n)} & p_{F02}^{(n)} & \dots & p_{F0M}^{(n)} \\ p_{F10}^{(n)} & p_{F11}^{(n)} & p_{F12}^{(n)} & \dots & p_{F1M}^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{FM0}^{(n)} & p_{FM1}^{(n)} & p_{FM2}^{(n)} & \dots & p_{FMM}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

## V. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Os resultados do modelo proposto foram obtidos em função de um banco de dados, de uma UCR da rede de distribuição de Manaus, cujo consumo por fases, corresponde ao período de 2005-2008. Vale salientar que para efeitos da validação da modelagem tenham sido realizadas simulações apenas das medições referentes ao ano de 2005.

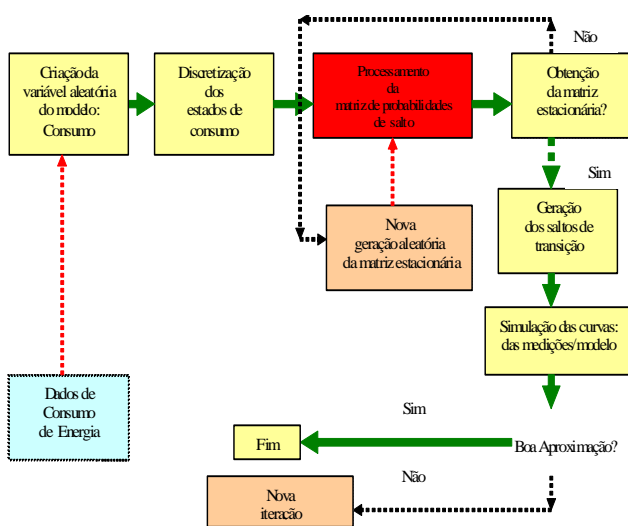


Fig. 5. Algoritmo de cadeias de Markov para consumo de energia elétrica de uma UCR trifásica.

A Figura 5 apresenta o algoritmo de processamento das simulações do modelo proposto, para comparação analítica com os dados das medições reais de consumo. O fluxo do mesmo explica-se a seguir:

- i) A partir dos dados de consumo, cria-se, variável aleatória do modelo proposto “Consumo”;
- ii) Discretização dos dados, em função dos intervalos dos estados de consumo, aplicando-se para isso, um coeficiente de variância aleatória “ $\rho = 0,35$ ” para classificação dos estados de baixo e alto consumo;
- iii) Obtenção da matriz de probabilidades de transição, e função das incidências de ocorrência dos estados;
- iv) Obtenção da matriz estacionária do processo, antes de gerar os saltos, de transição de estados.
- vi) Caso não seja possível obter um bom grau de estacionariedade, processam-se mais iterações, até encontrar um bom grau de estacionariedade;

- vii) Geração dos 11 “saltos de transição” (para gerar o consumo anual), a partir da matriz estacionária;
- viii) Simulação das curvas de consumo: das medições reais, e da variável do modelo;

As simulações das cadeias de *Markov* foram geradas no software Mathcad 14.0, tendo sido representado para cada fase, o desempenho dos dados reais pelas incidências “azuis”, e o desempenho do modelo pelas incidências vazias “vermelhas”. Adotando três valores possíveis: “0” para “baixo consumo”, “1” para “consumo médio”, e “2” para “alto consumo”.

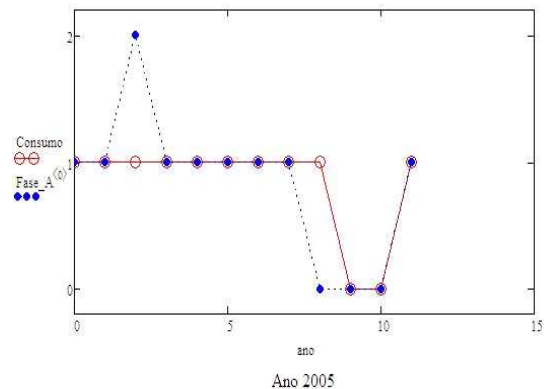


Fig. 6. Trajetória do processo de níveis de consumo de energia elétrica na Fase A. Consumo medido (dados reais) e processo simulado.

Na Figura 6 mostra-se, a simulação de consumo mensal de energia elétrica, da Fase A da UCR experimental. O modelo *Markoviano* obtido apresenta neste caso, um padrão de eventos bastante similar aos dados de medição. Estabelecendo-se, desta maneira, uma “validação” do modelo.

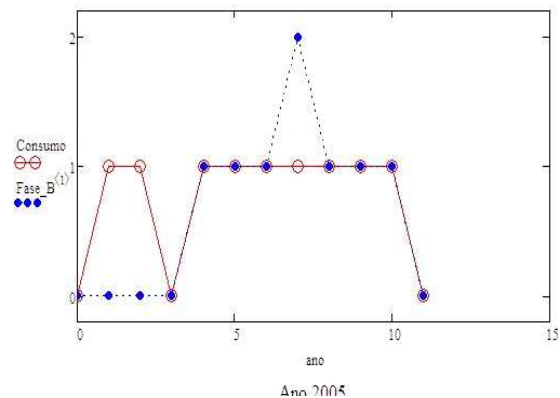


Fig. 7. Trajetória do processo de níveis de consumo de energia elétrica na Fase B. Comparação do consumo medido (dados reais) e processo simulado.

Analogamente, a Figura 7 mostra a simulação de consumo mensal de energia elétrica, da Fase B da UCR. O modelo *Markoviano* mostra neste caso, perfil similar ao da medição. Estabelecendo-se assim, também para este caso, uma “validação” do modelo.

A Figura 8 mostra a simulação de consumo mensal de energia elétrica, da Fase C da UCR experimental. Estabelecendo-se de forma semelhante, para este caso uma validação eficiente do modelo.

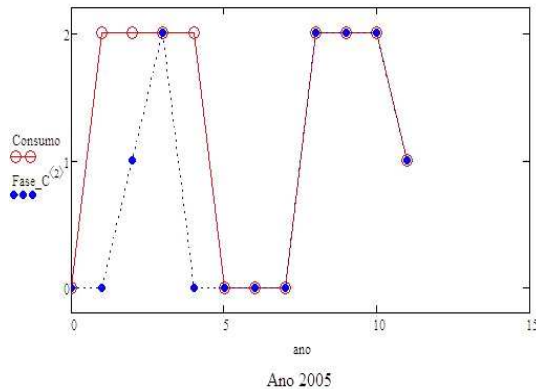


Fig. 8. Trajetória do processo estocástico de níveis de consumo de energia elétrica na Fase C. Consumo medido (dados reais) e processo simulado.

## VI. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste trabalho, atingiu-se o objetivo proposto: sugerir o uso das cadeias de Markov como uma ferramenta alternativa no tratamento do consumo residencial de energia elétrica, neste caso, com ligação trifásica. As curvas de perfil de consumo do modelo mostraram coerência em relação ao desempenho real das medições de cada fase, o que permite acreditar que se torna viável modelar o consumo residencial de energia elétrica, a partir das probabilidades de salto de transição dos estados, i.e., através do uso de cadeias de *Markov*, tonando-se uma “inteligência” atrativa para gerenciamento de consumo de SG de BT.

Como trabalhos futuros apontam-se: a implementação da previsão de consumo futuro; e o desenvolvimento de modelagem de consumo, via redes neurais, em razão da eficiência da adaptação de desempenho, que podem ser encontrados, em perfis diversos de consumo.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEAM, UEA, UFPA, e UFPE por permitirem a realização deste trabalho.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] ANEEL, “Projeto Estratégico: Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente.”, abril 2010. Retrieved from [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD\\_2008-ChamadaPE11-2010.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf), 2010.
- [2] V.M. Catterson, E.M. Davidson, J.S.D McArthur, "Embedded Intelligence for Electrical Network Operation and Control," *IEEE Trans. Intelligent Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 38-45, Apr. 2011.
- [3] B.A. de Souza, A.M.F de Almeida, "Multiobjective Optimization and Fuzzy Logic Applied to Planning of the Volt/Var Problem in Distribution System," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 38-45, Aug. 2010.
- [4] L.M. Freire, E.M.A Neves, L.I. Tsunehiro, D. Cappeta " Perspectives of Smart Grid in the Brazilian Electricity Market" *Proc.in 2011 IEEE-*

- PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies- ISGT Latin America, pp. 1- 4, 19-21.ISBN 978-1-4577-1802-1,oct, 2011.
- [5] R.C. Gomes, A.L. Printes, C. Ramos, "Proposta de Sistema com Arquitetura para Implementação de uma Smart Grid na Rede de Distribuição em Baixa Tensão" *Proc. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos- SBSE 2010*, pp. 1- 6, 18-21 maio, 2010, Belém,PA, Brasil.
- [6] NIST, "NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards," nov. 2010. Retrieved from: [http://www.nist.gov/public\\_affairs/releases/upload/smartgrid\\_interoperability\\_final.pdf](http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf), 2010.
- [7] J.R. Silva, V. de Oliveira, J.R. Sicchar, "Relatório Técnico- Requisitos para Smart Grid Nacional", dez. 2011. D-lab. Depto. Eng. Mecatrônica-USP, São Paulo, SP, Brasil.
- [8] J.R.Sicchar, C. Tavares, A. Olivera, J.R. Silva, I.F. Pina, R.C.Gomes, "Sistema Inteligente para Análise de Consumo de Energia Elétrica em Smart Grid de Baixa Tensão" *Proc. 2011 Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente -SBAI 2011*, pp.1-6, 18-21 setembro, 2011, São João del Rei, MG, Brasil.
- [9] W.M. Siti, A. Jimoh, D. Nicolae, "Distribution network phase load balancing as a combinatorial optimization problem using fuzzy logic and Newton- Raphson," *Elsvier Trans. Electric Power System Research*. DOI: 0.1016/j.epsr.2010.12.006, Apr. 2011.
- [10] P. Wang, J.Y. Huang, Y. Ding, P. Loh, L. Goel, "Demand Side Load Management of Smart Grids using intelligent Trading/ Metering/ Billing System" in *Proc. 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting Conf.*, pp.1-6. Minneapolis, 2010.