



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Estudo da Elasticidade da Tarifa de Energia Elétrica a partir da Curva de Carga

E. C. Guardia	A. R. Queiroz	J. W. Marangon Lima	J. O. Leite
Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI	University of Texas at Austin	Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI	Light Serviços de Eletricidade - LIGHT
eduardo.guardia@unifei.edu.br	ar_queiroz@mail.utexas.edu	marangon@unifei.edu.br	olyntho.leite@light.com.br

Palavras-chave

Cluster Analysis

Curva típica de carga

Elasticidade da energia elétrica

Regulação econômica

Tarifa de distribuição

Resumo

Neste artigo é proposta uma metodologia para determinar a elasticidade tarifa versus demanda de energia elétrica registrada nas curvas de carga. A elasticidade é essencial no processo de determinação da tarifa porque ela representa a resposta do consumidor frente ao sinal tarifário. No processo de obtenção da elasticidade é necessário obter a curva de carga típica de consumidores onde, neste trabalho, serão utilizados algoritmos de Cluster Analysis (análise de agrupamentos). A elasticidade é então obtida comparando curvas de carga representativas com a variação da tarifa entre dois anos consecutivos. O foco deste trabalho está na elasticidade associada à variação relativa da tarifa e da carga entre os postos horários de ponta e fora de ponta capturando a habilidade do consumidor em modular sua curva de carga face ao sinal tarifário. Esta capacidade de modulação é muito importante na otimização do uso das redes de distribuição afetando o custo da energia elétrica para o consumidor final. Este trabalho foi resultado de um projeto de P&D desenvolvido entre a LIGHT e a UNIFEI e a aplicação da metodologia proposta foi feita utilizando o sistema da LIGHT-Rio.

1. Introdução

Empresas que atuam no mercado de distribuição e comercialização de energia elétrica necessitam saber como o consumidor se comporta em termos de demandas horárias. Essas demandas servem como insumo para os estudos de planejamento e operação das redes e para a elaboração de contratos de compra e venda de energia elétrica. A elasticidade é uma medida do comportamento do consumidor frente ao sinal tarifário e normalmente não é incorporada na análise tarifária, pois assume-se que a carga elétrica é inelástica. A obtenção do comportamento do consumidor pode ser feita através de uma avaliação estatística usando séries históricas ou através de contatos diretos com o cliente via pesquisa, ou seja, uma avaliação fundamentalista. Este trabalho optou pela análise estatística apesar de se ter um histórico bem reduzido das curvas de carga.

O estudo das curvas de carga diárias dos consumidores pode mostrar os efeitos da mudança tarifária no comportamento dos consumidores. Desta forma, as memórias de massa dos medidores devem ser trabalhadas para extrair informações dos perfis de consumo de cada UC, os quais serão posteriormente agrupados com a utilização de técnicas de agrupamentos para obter curvas de cargas representativas de um consumidor ou de grupos de consumidores. Neste trabalho, com as curvas representativas e a variação observada nas tarifas durante três anos de análise, foram obtidas as elasticidades próprias e cruzadas para os postos horários de ponta e fora de ponta.

Considerando as informações obtidas de medidores eletrônicos, são mostradas na seção 2.1 as etapas da aquisição e organização dos dados. As curvas de carga obtidas são analisadas para identificar comportamentos típicos entre dias das semanas de um mesmo consumidor com o objetivo de capturar sazonalidades o que denominamos de análise intra-consumidor. Estas curvas também foram utilizadas para identificar comportamentos similares entre consumidores o qual denominamos de análise inter-consumidor. Na seção 2 que trata da Metodologia, a análise de agrupamento (“cluster analysis”) e o cálculo da elasticidade são apresentados com maiores detalhes. Na seção 3 são apresentados os principais resultados do trabalho.

Este trabalho retrata todo o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento “Elasticidade – Curva de Carga” realizado para a Light Serviços de Eletricidade SA, o qual considerou informações de medição e de faturamento do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005 para uma amostra de consumidores do Grupo A com demanda contratada acima de 500 kW e tarifa horo-sazonal azul, sendo 81 consumidores classificados como Indústria de Transformação, onde incluem-se Máquinas e equipamentos, Papel e Celulose, Produtos Químicos, Metalurgia Básica entre outras e 219 consumidores classificados como Outras Atividades, onde incluem-se Administração Pública, Comércio, Atividade Imobiliária, Serviços de Saúde entre outras.

2. Metodologia

2.1 Aquisição de dados

Os medidores eletrônicos para tarifação binômica permitem se obter muitas informações sobre a forma de utilização da energia pelo consumidor. Esses medidores apresentam parâmetros de funcionamento configuráveis como data, hora, intervalo de demanda, feriados, horário de verão, constantes de multiplicação, entre outros. Além destes parâmetros, os dados de medição são armazenados em intervalos de 5 minutos, compondo as curvas de carga mensais de energia ativa e energia reativa que pode ser dividida em indutiva e capacitiva. Este conteúdo de informações é chamado de memória de massa do medidor, e a partir dela é calculada a fatura mensal da Unidade Consumidora (UC). A seguir é apresentado o conjunto de etapas utilizadas na aquisição dos dados para levantamento das curvas de carga dos consumidores.

Etapa 1: organização do banco de dados das memórias de massa dos medidores

O objetivo desta etapa é organizar todos os arquivos das memórias de massa mensais dos medidores das UCs para todos os anos analisados. Este banco de dados é utilizado para fornecer informações do perfil da curva de carga dos consumidores no processo de classificação.

Na área de concessão das Distribuidoras de Energia é comum existir mais de um tipo de medidor instalado em suas UCs, os quais apresentam características específicas necessitando procedimentos diferentes para leitura dos dados – tabela 1.

Tabela 1 – Características dos medidores

Fabricante	ELO	ESB:
Modelos	ELO2113, ELO 2150D e ELO21	SAGA1000 e SAGA2000
Formato do arquivo da memória de massa	Criptografado (nomenclatura com caractere @)	Público (nomenclatura com caractere &)
Software para leitura de um arquivo	Software ELO 50	Software PlaWin
Software para leitura de mais de um arquivo	Software ELO 20	Programação com base na NBR14522 [1]
Tamanho do arquivo / variáveis	50 kB / data, hora, kWh, kvarh	110 kB / data, hora, kWh, kvarh, pulso ativo, pulso reativo
Tempo de integração	5 minutos	5 minutos



Figura 1 - Medidores SAGA 1000 e SAGA 2000



Figura 2 - Medidores ELO2113, ELO 2150D e ELO2180p

Foi desenvolvido um banco de dados com acesso direto aos arquivos das memórias de massa dos medidores SAGA onde através de filtros são extraídas as informações para a análise dos agrupamentos.

Etapa 2: organização do banco de dados de faturamento das UCs

O objetivo desta etapa é organizar as planilhas de faturamento que contém os parâmetros comerciais das UCs, como o número da UC, a classe de consumo, o tipo de tarifa, as demandas contratadas e a atividade econômica. Este banco de dados também pode ser utilizado no processo de classificação para se fazer uma seleção ou filtragem inicial no número de consumidores procurando reduzir a quantidade de curvas de cargas que serão analisadas em conjunto.

A consolidação das informações mensais de todas as UCs é importante para garantir a continuidade das informações, pois observa-se que constantemente podem entrar e sair UCs.

Etapa 3: cruzamento dos bancos de dados de memórias de massa com os dados de faturamento

A forma de cruzar as informações do banco de dados de memórias de massa com o banco de dados comerciais é o número/código da UC e o número/código do medidor.

Assim, é necessário que a Distribuidora tenha organizado um banco de dados complementar contendo o número da UC e o histórico do número de identificação dos medidores que nela estiveram instalados para ligar as curvas de carga aos dados de faturamento. A continuidade dos dados é muito importante, por isso a padronização do tipo de medidor deve ser recomendada.

Etapa 4: leitura das curvas de carga diárias com potências médias horárias

Esta etapa iniciou-se com a utilização dos softwares disponibilizados pelos fabricantes, conforme o tipo de medidor, para a leitura e tratamento de arquivos individuais. O objetivo é transformar curvas de carga diárias com tempo de integração de 5 minutos em curvas de carga diárias com médias horárias e identificar o dia da semana.

Dado que os bancos de dados organizados contêm milhares de arquivos e planilhas muito extensas, o tratamento manual e individual das curvas de carga de cada UC torna-se inviável, sendo necessário o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que faça a leitura dos dados diretamente da memória de massa e transforme em curvas de carga com as 24 médias horárias.

2.2 Análise de Cluster

A análise de agrupamentos ou “cluster analysis” é aplicada quando se deseja determinar uma estrutura natural de agrupamentos de objetos multidimensionais, com base em medidas de similaridade ou distância dos objetos [9]. A análise de cluster separa um conjunto de N objetos em K classes mutuamente exclusivas, de forma que os objetos de uma mesma classe sejam semelhantes entre si, mas diferentes dos objetos pertencentes às outras classes. Isto é, no processo de formação dos clusters, os elementos de cada classe possuem o maior grau de homogeneidade e os elementos entre as classes possuem o maior grau de heterogeneidade possível (Figura 3).

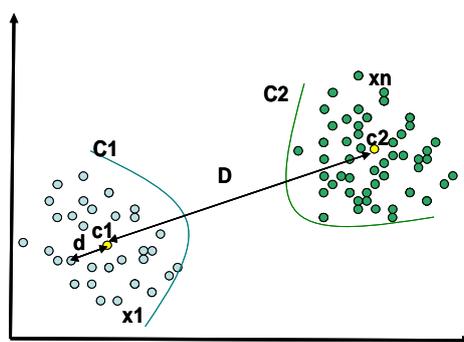


Figura 3 - Formação dos clusters por similaridade

Quando o objetivo do processo de agrupamento é identificar perfis de carga que mostrem o comportamento do consumidor, o resultado define um conjunto com tipologias de consumo de energia elétrica. Neste caso, cada objeto $n \in N$ tem H atributos horários, formando um conjunto de vetores.

Nota-se, porém, que os dados de medição encontram-se na forma de potência (ou energia) e que a comparação entre curvas de carga diárias deve ser feita na forma normalizada, desconsiderando o tamanho dos consumidores para evitar problemas de escala.

Especificamente no estudo de tipologias de curvas de carga este fator de normalização é calculado pelo valor máximo do atributo que é igual à potência máxima diária [6] e [15] – equação (1).

$$\|A_i(j)\| = \frac{A_i(j)}{A_{maior}(j)}, \quad (1)$$

$i = 1 \rightarrow 24,$
 $j = 1 \rightarrow \text{número de curvas},$
 $A = [kW]$

Em seguida, para se determinar a curva de carga característica de um consumidor ou de um grupo de consumidores são estabelecidas medidas da comparação das curvas de carga diárias.

Na aplicação do conceito de formação de agrupamentos com base na distância inter-grupos e na distância intra-grupo adotou-se os termos inter-consumidores e intra-consumidor respectivamente.

A análise inter-consumidores representa a obtenção das curvas representativas a partir da comparação das distâncias entre curvas de um conjunto de curvas diárias com mais de uma UC. Pode ser usado para comparar similaridades no comportamento de mais de uma UC.

A análise intra-consumidor representa a obtenção das curvas representativas a partir da comparação das distâncias entre curvas de um conjunto de curvas diárias de uma única UC. Pode ser usado para comparar mudanças no comportamento da mesma UC.

Esta comparação é feita entre todas as curvas, duas a duas, de forma que as curvas mais parecidas pertencerão ao mesmo grupo. Mede-se então esta similaridade entre as curvas por uma distância geométrica entre os atributos da curva de carga. A distância média Euclidiana que é uma ponderação da distância Euclidiana, tem como resultado da medida a média das diferenças entre os atributos – equação (2).

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad , \quad (2)$$

para
 $p = \text{número de atributos}$
 $x \neq y$

Os métodos aplicados para reconhecimento de tipologias de consumidores de energia elétrica classificam-se em categorias: não hierárquica, hierárquica, geométrica e outras (GERBEC [7], 2002).

Os métodos não hierárquicos têm o objetivo de particionar diretamente o conjunto de elementos em um número fixo de k grupos de maneira que a heterogeneidade interna seja minimizada, formando grupos coesos, e haja o isolamento desses grupos, aumentando a separação entre eles. Os métodos não hierárquicos mais conhecidos empregados para o reconhecimento de tipologias são o *k-Means* e o *Fuzzy Clustering Method (FCM)*.

No *FCM* cada objeto pertence a todas as classes, porém com graus de pertinência distintos, de forma que o objeto é alocado na classe onde o grau de pertinência se apresentar maior (PESSANHA [11], 2006). Enquanto no *k-Means* a participação de um elemento em um determinado grupo é rígida ($u_{ij} = 1$ ou $u_{ij} = 0$), no *FCM* a partição é “fuzzy” ($0 \leq u_{ij} \leq 1$).

De acordo com estudos específicos o desempenho do método *FCM* em comparação a outros métodos de *Ward* e *k-Means* é ligeiramente superior (CHICCO [3], 2002). Logo, a implementação das caracterizações das curvas de cargas através do *FCM* foi a adotada neste trabalho.

Considera-se que o algoritmo que tiver boa medida de adequação garantirá a determinação de grupos bem separados (elementos distintos entre grupos) e compactos (elementos parecidos intra grupo). O índice usado neste estudo foi o Índice de Compacidade e Separação (CS), calculado pela equação (3).

$$CS = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2}{n \cdot \min \|c_{j1} - c_{j2}\|^2} \quad (3)$$

onde o termo $\min \|c_{j1} - c_{j2}\|^2$ representa a menor distância entre dois agrupamentos, o denominador mede a separação entre esses agrupamentos e o numerador mede a heterogeneidade interna (PESSANHA [11], 2006). Quanto menor for o valor deste indicador, melhor será a validade do agrupamento.

2.3 Cálculo da Elasticidade

A elasticidade demanda preço mede a reação dos consumidores às mudanças no preço de determinado produto. Essa reação é calculada pela razão entre dois percentuais, a variação percentual na quantidade demandada dividida pela mudança percentual no preço – equação (4).

$$E_d = \frac{\Delta d / d_0}{\Delta p / p_0} \quad (4)$$

Onde E_d é a elasticidade demanda preço, Δd é a variação na demanda, d_0 é a demanda inicial, Δp é a variação do preço e p_0 é o preço inicial.

Muitos trabalhos foram propostos para tentar explicar e por em prática o conceito de elasticidade aplicado ao consumo de energia elétrica como, por exemplo, determinar o consumo de energia como função de equação linear multivariada. Outro trabalho tenta descrever o comportamento dos consumidores através de uma matriz de elasticidade própria e cruzada (KIRSCHEN [10], 2000). Neste caso, a elasticidade tarifa-curva de carga relaciona o conjunto de demandas horárias com as tarifas especificadas para cada hora do dia. Essa proposta trabalha com o histórico horário de preço e demanda e a elasticidade é calculada a nível horário. Supondo que a reorganização das atividades não excede o limite das 24 horas, os coeficientes das elasticidades podem ser arranjados numa matriz $E_{24 \times 24}$ – equação (5).

$$\Delta Q = E \Delta P \quad (5)$$

Onde ΔQ representa o vetor de variação de carga para as 24 horas em função da variação de preço representado pelo vetor ΔP . A variação de carga para uma determinada hora i é obtida a partir da reação do consumidor frente às variações de preço em todos os horários do dia – equação (6).

$$\Delta q_i = \sum_{j=1}^{24} \varepsilon_{ij} \Delta p_j \quad (6)$$

Os elementos da matriz E correspondem aos coeficientes de elasticidade ε_{ij} que podem ser próprios quando $i=j$ ou cruzados quando $i \neq j$. As elasticidades próprias estão na diagonal da matriz E , e representam a reação do consumidor frente a variações de preço na mesma hora. As elasticidades cruzadas, estão associadas à reação do consumidor frente a variações de preço em horas diferentes. A coluna j desta matriz indica como a variação de preço na hora j afeta o comportamento em todas as horas do dia.

Se um aumento não comum de preço induz um consumidor a reorganizar sua produção sem redução do consumo de energia elétrica para um período de 24 horas, o somatório de todos os elementos de uma mesma coluna da matriz E tende a ser igual a zero. A matriz E que satisfaz esta relação é chamada de matriz de elasticidade sem perdas. Ao contrário, se um aumento geral de preço provoca uma redução de demanda em todas as horas, o somatório passa a ser negativo.

Neste trabalho considera-se que o comportamento do consumidor é linear, ou seja, que a elasticidade pode representar a reação do consumidor ao preço. Na realidade, o processo é não linear porque o consumidor reage diferente se o aumento ou diminuição do preço é grande ou pequena.

É importante observar que o estudo destas elasticidades poderia ser conduzido de forma independente, ou seja, a reação da demanda das 15 horas para uma variação na tarifa da hora 15 ou da hora 14. Entretanto, esta independência não existe visto que o objetivo de um consumidor industrial, por

exemplo, é obter um menor custo global ao longo do dia e não minimizar o custo de uma determinada hora do dia.

No caso do sistema brasileiro e em particular a Light, existem basicamente dois postos tarifários que são denominados de ponta (P) correspondendo ao período de 18 às 22 horas e fora de ponta (FP) correspondendo ao período restante. Desta forma, a matriz E é considerada com dimensão 2×2 , supondo que existam apenas duas demandas, ou seja, a demanda da ponta ($DemP$) e a demanda fora de ponta ($DemFP$).

Para dois anos consecutivos, ano t e ano $(t+1)$, onde ocorre uma variação na tarifa, é possível obter as elasticidades absolutas próprias da ponta e fora de ponta, E_{PP} e E_{FPFP} , para este período utilizando as equações (7) e (8).

$$E_{PP} = \frac{\frac{Dem_p(t+1) - Dem_p(t)}{Dem_p(t)}}{\frac{Tar_p(t+1) - Tar_p(t)}{Tar_p(t)}} \quad (7)$$

$$E_{FPFP} = \frac{\frac{Dem_{FP}(t+1) - Dem_{FP}(t)}{Dem_{FP}(t)}}{\frac{Tar_{FP}(t+1) - Tar_{FP}(t)}{Tar_{FP}(t)}} \quad (8)$$

Onde $DemP(t+1)$ é a demanda de ponta no ano $t+1$, $DemFP(t)$ é a demanda fora de ponta do ano t , $TarP(t+1)$ é a tarifa do posto ponta no ano $t+1$, $TarFP(t)$ é a tarifa do posto fora-de-ponta no ano t . As elasticidades absolutas cruzadas podem também ser obtidas pelas equações (9) e (10).

$$E_{PFP} = \frac{\frac{Dem_p(t+1) - Dem_p(t)}{Dem_p(t)}}{\frac{Tar_{FP}(t+1) - Tar_{FP}(t)}{Tar_{FP}(t)}} \quad (9)$$

$$E_{FPF} = \frac{\frac{Dem_{FP}(t+1) - Dem_{FP}(t)}{Dem_{FP}(t)}}{\frac{Tar_p(t+1) - Tar_p(t)}{Tar_p(t)}} \quad (10)$$

Para obter estes elementos da Matriz de Elasticidade, o ideal seria variar a tarifa em um posto e manter constantes as demais tarifas dos outros postos a fim de obter o efeito apenas do posto em questão. Infelizmente, este tipo de dado não existe pois necessitaria de fazer um teste com os consumidores. A matriz de elasticidade absoluta, E , assim obtida é composta pelos elementos das equações (7), (8), (9) e (10).

$$E = \begin{bmatrix} E_{PP} & E_{PFP} \\ E_{FPF} & E_{FPFP} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Para os consumidores da Light, foram obtidos os perfis de carga considerando as 24 horas do dia. A matriz E é então construída com as 24 demandas, mas a tarifa só será diferente para dois períodos do dia relativos à ponta e à fora-de-ponta. Mesmo assim é possível obter as elasticidades absolutas para as 24 horas do dia supondo as premissas discutidas anteriormente.

As elasticidades relativas são as mais importantes para avaliar a propensão do consumidor em alterar o seu perfil de carga frente a um sinal tarifário. Existe no setor elétrico brasileiro um “dogma” de que se for diminuída a relação atual entre a tarifa de ponta e a tarifa fora-de-ponta vai haver um acréscimo substancial de potência no sistema levando a um déficit de capacidade na distribuição e transmissão. Isto se deve ao fato de que os grandes consumidores na sua maioria fazem um remanejamento de carga em função da relação atual de quatro vezes entre a tarifa de ponta e fora-de-ponta. Este remanejamento ou modulação intencional da carga seria desfeito ou prejudicado caso esta relação viesse a ser alterada. É neste ponto que a elasticidade relativa pode fornecer uma informação mais precisa desta mudança de comportamento do consumidor e possibilitar um melhor desenho das tarifas. Na elasticidade relativa tenta-se extrair as variações comuns entre a demanda e a tarifa nos postos tarifários, ou seja, tira-se a tendência conjunta tanto de incremento como de decremento da tarifa focando exclusivamente nas variações relativas.

A matriz de elasticidade relativa ER tem elementos iguais a 1 na diagonal pois as elasticidades próprias seriam colocadas como base das tendências de crescimento ou decréscimo da tarifa no seu conjunto. As elasticidades relativas cruzadas seriam obtidas relacionando o efeito da variação de preço e a variação de demanda entre os postos tarifários. A elasticidade relativa no caso de dois postos tarifários seria obtida pela equação (12).

$$ER_{PFP} = \frac{\frac{Dem_p(t+1) - Dem_p(t)}{Dem_{FP}(t+1) - Dem_{FP}(t)}}{\frac{Tar_p(t+1) - Tar_p(t)}{Tar_{FP}(t+1) - Tar_{FP}(t)}} \quad (12)$$

Outra forma de entender esta relação é verificando que existe uma relação entre as tarifas de ponta e fora-de-ponta para a contratação de demanda, equação (13) e como consequência disto há uma relação de demandas contratadas e registradas – equação (14).

$$RTar_{PFP} = \frac{Tar_p}{Tar_{FP}} \quad (13)$$

$$RDem_{PFP} = \frac{Dem_p}{Dem_{FP}} \quad (14)$$

3 Principais Resultados

3.1 Determinação das tipologias anuais para os consumidores

A partir da leitura das curvas de carga caracterizadas da amostra de consumidores, foi estipulada a quarta-feira como o dia útil típico, reduzindo, dessa forma, a quantidade de curvas por consumidor ao máximo de 52 curvas por ano. Os casos de comportamentos com medições cujos valores estavam fora de uma faixa aceitável foram excluídos, usando-se o critério de comparação da distância, em desvios padrões, de cada atributo horário em relação à média do agrupamento.

A determinação das tipologias de carga foi testada de duas formas, inter e intra consumidores, aplicando a técnica de agrupamento Fuzzy Clustering Method (FCM) com o índice de validação Compacidade e Separação (CS).

3.2 Análise intra-consumidor

A abordagem do método de agrupamento feita individualmente por consumidor, identifica variações de comportamento sazonais ou por outros motivos. Para uso no cálculo da elasticidade, porém,

permite escolher entre os grupos gerados (2 ou 3 agrupamentos), aquele comportamento que se repete com maior frequência cada ano.

Tomando o exemplo da UC 115436 da atividade Fabricação de Produtos Alimentícios e Bebidas do sub-grupo A4, tem-se as seguintes curvas representativas em 2004.

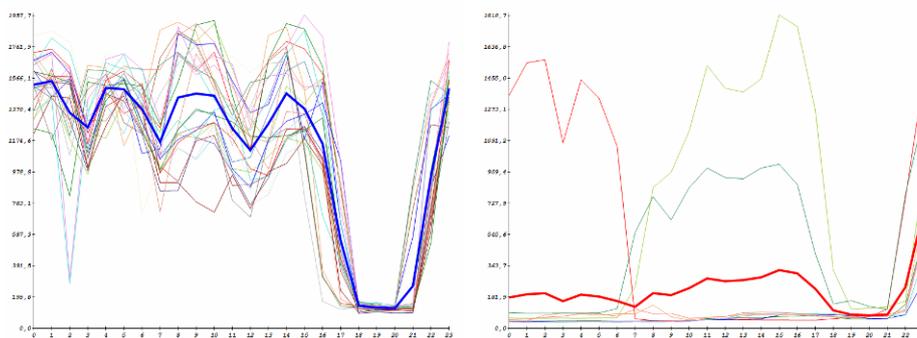


Figura 4 - Agrupamentos representativos – Produtos Alimentícios e Bebidas

Da mesma forma para UC 90310 da atividade Fabricação de Produtos Químicos do sub-grupo A3a, tem-se as seguintes curvas representativas em 2005.

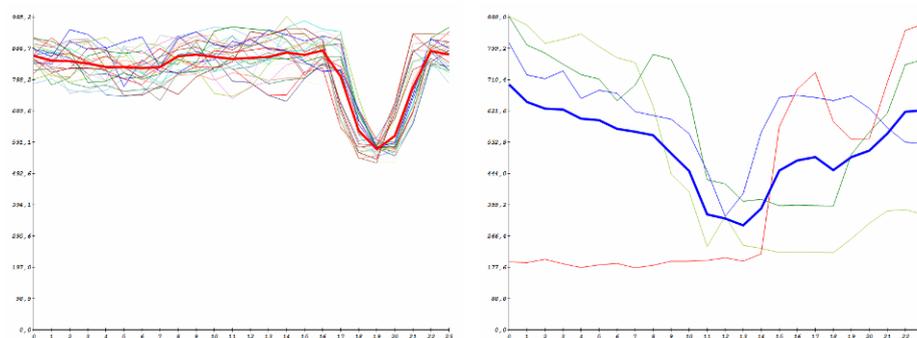


Figura 5 - Agrupamentos representativos – Fabricação de Produtos Químicos

Verifica-se que ao final deste procedimento foram obtidas mais de uma curva representativa anual para os consumidores, porém, para o interesse do cálculo da elasticidade foi escolhida somente uma, aquela em que estava presente no maior número de curvas.

Os procedimentos de análise inter-consumidores e intra-consumidor foram repetidos para a amostra dos 300 UCs obtendo-se ao final, curvas diárias representativas para cada ano de medição desses consumidores. Identificadas as curvas de carga representativas, e associando-as às informações sobre as tarifas calcula-se as elasticidades.

3.3 Análise inter-consumidores

A aplicação do método de agrupamento para análise inter-consumidor considerou a análise conjunta de grupos com 2 até 47 UCs nos anos 2003, 2004 e 2005. Tomando a atividade Metalurgia Básica do sub-grupo A2 como exemplo (análise de 5 UCs), o resultado dos agrupamentos da análise inter-consumidores mostra que existem dois tipos de curvas de carga em 2005 (Figura 4), um com comportamento constante e outro modulado. As UCs tem tamanhos diferentes fazendo com que a curva de carga representativa em negrito (curva média ou central) tenha a potência média ponderada do grupo. Note-se aqui que a tipologia da curva de carga foi identificada na sua forma normalizada. Porém, a visualização gráfica dos agrupamentos de curvas ocorre na forma desnormalizada, ou seja, em potência.

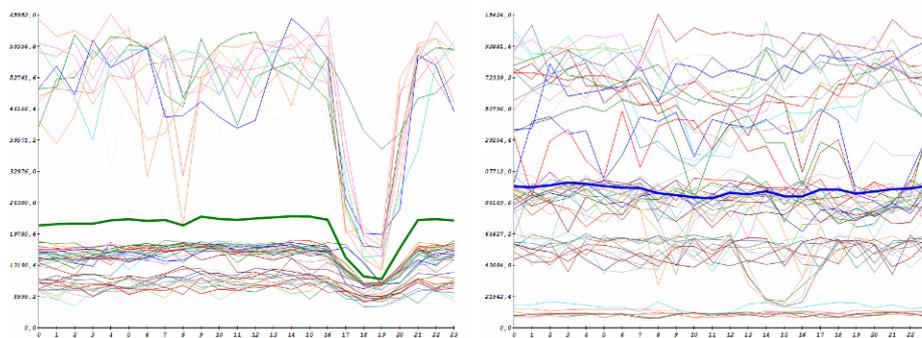


Figura 6 - Agrupamentos representativos – Metalurgia Básica

Fazendo a mesma análise para a Fabricação de Produtos Têxteis do sub-grupo A3a com 2 UCs, dois agrupamentos distintos foram formados, mostrando que as 2 UCs apresentam comportamentos diferentes em 2005.

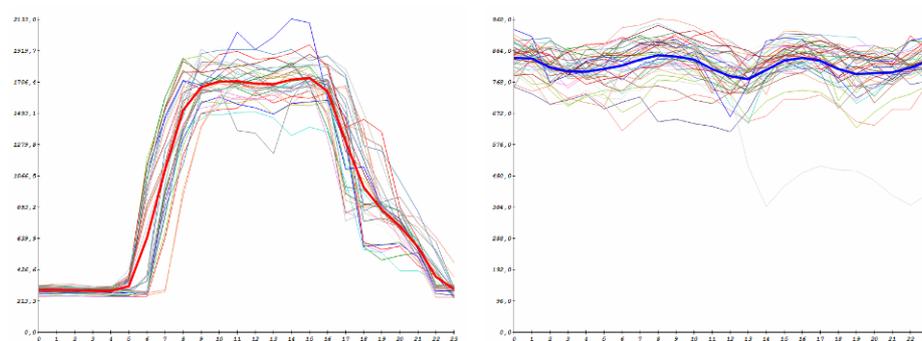


Figura 7 - Agrupamentos representativos – Fabricação de Produtos Têxteis

Nota-se neste caso que os agrupamentos separaram os dois consumidores mostrando que seus comportamentos são diferentes e que as curvas representativas são individuais.

Para evitar as variações da ponderação das curvas de carga na determinação das curvas representativas que serão usadas para o cálculo da elasticidade, opta-se pela análise intra-consumidor.

3.4 Resultados da Elasticidade Relativa

Para os consumidores da atividade Indústria de Transformação e Outras Atividades os valores de elasticidade relativa são mostrados por sub-grupo, nos dois intervalos anuais, nas figuras 8 e 9.

No geral as elasticidades relativas foram bem variadas, sendo positivas, negativas, baixas e altas. Isso significa que ocorreu modulação da carga, em sentido direto ou inverso à variação da tarifa, em grande ou em pequena medida. Isto ressalta a necessidade apontada anteriormente quanto à necessidade de uma análise prévia de causa e efeito, ou seja, se a variação na relação das tarifas explica a variação na modulação da carga. É importante observar que não se pode afirmar “*a priori*” que este é o valor da elasticidade do consumidor. Entretanto, já se pode observar comportamentos diferenciados entre as atividades econômicas e em função da modalidade tarifária.

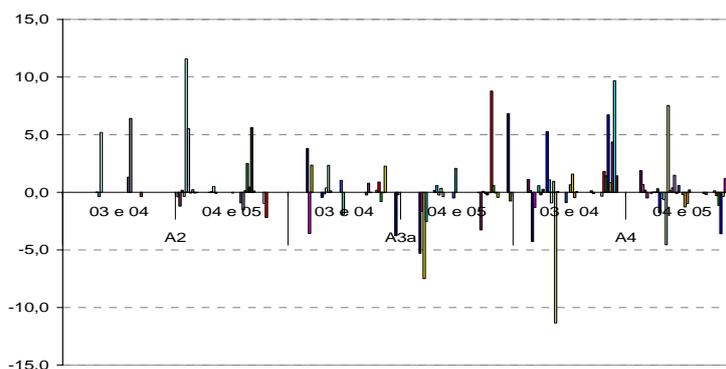


Figura 8 - Elasticidades relativas para a Indústria de Transformação

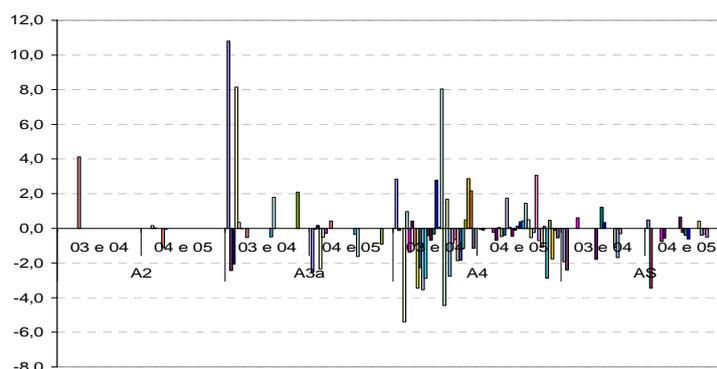


Figura 9 - Elasticidades relativas para Outras Atividades

4. Conclusões

A utilização da metodologia proposta mostrou que é possível iniciar um processo amplo de coleta de informações graças a sua aplicabilidade para o cálculo da elasticidade tarifa-curva de carga.

Ao longo das etapas da aplicação algumas questões foram surgindo e algumas soluções foram dadas.

Na obtenção dos dados, destacam-se os seguintes pontos:

- O rastreamento dos medidores nas UCs para garantir a continuidade dos dados de medição;
- A consolidação dos dados de faturamento contendo todas as informações comerciais das UCs;
- A padronização do tipo de medidor com dados no formato público para uso da NBR14522;

Na aplicação do modelo de cálculo, destacam-se os seguintes pontos:

- As formas de normalização para tipificação das curvas de carga pelo valor máximo como referência é a forma mais adequada para a boa separação e compacidade dos agrupamentos;
- O processo de agrupamento pelo método *FCM* é eficaz;
- A análise inter-consumidores para agrupamentos de consumidores com o mesmo perfil e tamanhos diferentes geram curvas representativas médias ponderadas com relação à quantidade de curvas de cada consumidor não sendo apropriado para o cálculo da elasticidade;
- A análise intra-consumidor permitiu a obtenção da curva representativa corretamente, bastando selecionar aquela com maior frequência de curvas para o cálculo da elasticidade.

Apesar dos resultados desta primeira investida no cálculo das elasticidades não serem confiáveis, foi possível através deste estudo estabelecer um procedimento de obtenção das variações da relação de demanda da curva de carga sobre a variação da relação de tarifas ponta e fora de ponta. Muitas pesquisas ainda devem se seguir como a melhoria no método de agrupamento para quantidades maiores de curvas de carga, avaliação da tarifa de demanda e consumo de forma conjunta, e outras.

Recomenda-se aplicar novas técnicas estatísticas como, por exemplo, os Descritores de Hjorth (Change Point Detection) (COYLE [5], 2006), para auxiliar na determinação do ponto de mudança do comportamento do consumidor para obter os períodos de análise das curvas de carga características e a partir daí calcular a “elasticidade”. A partir desta avaliação será possível obter a relação de causa e efeito a fim de garantir que o comportamento do consumidor retrata o efeito tarifário. Paralelamente, seria interessante conduzir pesquisas junto aos consumidores a fim de tentar explicar o seu comportamento corroborando ao resultados da análise estatística.

5. Referências bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14522 - Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [2] CHICCO, G.; NAPOLI, R.. **Electric Energy Customer Characterisation for Developing Dedicated Market Strategies**. Paper accepted for presentation at PPT 2001 IEEE Porto Power Tech Conference, September 10-13, Porto, Portugal.
- [3] CHICCO, G.; NAPOLI, R.; PIGLIONE, F., POSTOLACHE, P.; SCUTARIU, M.; TOADER, C.. **A Review of Concepts and Techniques for Emergent Customer Categorization**. Proc. Telmark Discussion Forum, London, September 2-4, 2002, paper 2-4.
- [4] CHICCO, G.; NAPOLI, R.; POSTOLACHE, P.; SCUTARIU, M.; TOADER, C.. **Customer Characterization Optins for Improving the Tariff Offer**. IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 18, No. 1, February 2003.
- [5] COYLE, D.; MCGINNITY, T.M.; PRASAD, G.. **Creating a Nonparametric Brain-Computer Interface with Neural Time-Series Prediction Preprocessing**. Proceedings of the 28th IEEE, EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30-Sept 3, 2006.
- [6] GERBEC, D.; GASPERIC, S.; SMON, I.; GUBINA, F.. **A Methodology to Classify Distribution Load Profiles**. IEEE, 2002.
- [7] GERBEC, D.; GASPERIC, S.; SMON, I.; GUBINA, F.. **An Approach to Customers Daily Load Profile Determination**. IEEE, 2002.
- [8] GERBEC, D.; GASPERIC, S.; SMON, I.; GUBINA, F.. **Determining the Load Profiles of Consumers Based on Fuzzy Logic and Probability Neural Networks**. IEE Proc. – Gener. Transm. Distrib., Vol 151, No. 3, May 2004.
- [9] GUARDIA, Eduardo Crestana. **Metodologia para o Cálculo da Elasticidade da Tipologia de Carga Frente à Tarifa de Energia Elétrica**. 2007. 155p Dissertação. (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- [10] KIRSCHEN, D. S.; STRBAC, G.; CUMPERAYOT, P.; MENDES, D. de P.. **Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Prices**. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 15,nº. 2, MAY 2000.
- [11] PESSANHA, J.F.M.; CASTELLANI, V.L.O.; ARAÚJO, A.L.A.. **Uma Nova Ferramenta Computacional para Construção de Tipologias de Curvas de Carga**. X SEPOPE, Maio de 2006.
- [12] TANURE, José Eduardo Pinheiro Santos. **Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição**. 2000. 157p Dissertação (Mestrado). Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Light Serviços de Eletricidade SA pelo suporte à pesquisa e ao fornecimento dos dados necessários sem os quais não seria possível desenvolver o trabalho.