

ESTABELECIMENTO DE ÍNDICES DE CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DA ELETROPAULO.

Antonio Carlos Estrabom
Denilvo de Morais

Cyro Vicente Boccuzzi
Olga Naomi Tsutiya

Eletropaulo - Eletricidade de São Paulo S.A
Av. Alfredo Egídio de Souza Aranha 100
CEP 04791-900 São Paulo (SP)

Resumo - Objetivo deste artigo é apresentar a metodologia, desenvolvida para a Eletropaulo, que estabelece limites para os índices de continuidade do sistema distribuidor, baseada nas necessidades do mercado a ser atendido. Tais necessidades são analisadas sob o aspecto quantitativo através do custo de interrupção e sob o aspecto qualitativo através dos perfis econômico, social e energético de cada município.
Palavras Chaves - DEC, FEC, DMI, Custo de Interrupção

Abstract - This article shows the methodology developed for the Eletropaulo that establishes the continuity indexes limits for the distribution system. It is based on the consumers necessities. Those are shown under the quantity aspect by interruption cost and under quality aspect by economic, social and energetic profiles for each district.

Keywords - DEC, FEC, DMI, Interruption cost

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de desempenho do sistema distribuidor, a nível nacional, está regulamentada de acordo com parâmetros estabelecidos pela portaria 046/78 do DNAEE

Para a Eletropaulo este acompanhamento é feito através dos 23 conjuntos de consumidores criados para este fim.

Porém, considerando o nível de exigência e a importância do mercado atendido pela Eletropaulo, decidiu-se desenvolver uma metodologia própria para avaliar a real necessidade deste mercado, visto que os índices estipulados pelo DNAEE são bastante flexíveis. Assim, em 1985 foi proposto um método de avaliação dos índices de continuidade de serviço que considerava a importância relativa dos municípios que compõem a Área de Concessão da Eletropaulo.

Tendo em vista a nova realidade do setor energético que busca uma futura desestatização, das Empresas de Energia, decidiu-se revisar o trabalho realizado anteriormente reavaliando os critérios adotados.

Foram levantados os perfis econômico, social e energético de todos os municípios a fim de se determinar o impacto das interrupções em cada um deles sob o aspecto qualitativo e quantitativo.

De posse dos resultados e considerando as áreas elétricas, novos conjuntos de consumidores foram estabelecidos para se acompanhar os índices DEC (duração equivalente por consumidor) e FEC (frequência equivalente por consumidor).

A grandeza a ser utilizada para medir o impacto quantitativo das interrupções é o custo de interrupção.

Impacto Qualitativo das Interrupções

Para a caracterização dos municípios foram usadas as seguintes tipificações ou seja, o Perfil Demográfico, O Perfil Econômico - Social e o Perfil Energético.

Para o perfil demográfico foram considerados:

- Área em km² dos municípios
- População estimada para 1995.

Para o perfil econômico - social foram considerados:

- Valor adicionado por município 1995, ano base 1994
- Faturamento Médio por Classe de Consumo (período de janeiro a setembro 1995)

Para o perfil energético foram considerados

- Número de Consumidores por Classe de Consumo 1994 ;

- Consumo segmentado por Classe - 1994.

O método utilizado procurou transformar os dados distintos acima mencionados em números índices, permitindo identificar o grau de participação de cada um deles no município. O próximo passo foi obter um índice global que representasse a participação de todos os indicadores para o município.

Através destes índices foi possível dividir os municípios com características semelhantes e índices qualitativos próximos em 5 grupos homogêneos, A,B,C,D e E, com grau de importância decrescente sob este aspecto.

Impacto Quantitativo das Interrupções

O custo de interrupção aqui definido é a relação entre o valor adicionado na área de concessão e o seu consumo efetivo.

Esta relação estabelece quantos MWh são necessários, para gerar o produto econômico, ou por outro lado, quanto representa em termos econômicos o MWh interrompido. Porém o custo de interrupção apresentado sob a forma R\$/MWh é pouco representativo para hierarquização, pois por ser uma relação entre valor adicionado e consumo, este quociente poderá ser idêntico independentemente das grandezas físicas envolvidas.

Assim, para efeito de hierarquização, outra forma de calcular o custo de interrupção é avaliar qual é o custo econômico de uma hora de interrupção, calculado da seguinte forma:

$$\frac{\text{R\$}}{\text{Distribuição}} = \frac{\text{R\$}}{\text{MWh}} \cdot \text{MWh distribuição} \cdot \frac{1}{\text{nº horas}}$$

De posse dos custos por município, a hierarquização foi realizada através da divisão dos mesmos impacto em 4 classes de impacto (1,2,3 e 4) da seguinte forma:

- CI 1 - acima de R\$ 100.000,00
- CI 2 - de R\$ 25.000,00 a R\$ 100.000,00
- CI 3 - de R\$ 10.000,00 a R\$ 25.000,00
- CI 4 - abaixo de R\$ 10.000,00

Relação entre os Índices de Confiabilidade e as Características dos Municípios

Atualmente os índices de fornecimento de energia elétrica estão regulamentados pela portaria 046/97 do DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica .

Estes índices tratam estritamente da duração em horas e a frequência que em média, os consumidores de uma determinada área ficaram sem fornecimento de energia elétrica em um dado período de tempo. Para balizamento dos índices foi considerado o número de consumidores dos conjuntos, não levando em consideração outros indicadores, tais como: produto interno da região; estrutura do consumo de energia, área atendida , etc que caracterizam o mercado atendido e as necessidades de qualidade de fornecimento de energia associados.

Utilizaremos para análise, não somente os índices DEC e FEC mas também o índice DMI, que representa a duração média de interrupções, em minutos das interrupções de fornecimento ocorridas em uma determinada área em um dado período de tempo.

$$\text{DMI} = \frac{\text{DEC}}{\text{FEC}} \times 60$$

As especificações destes índices para os municípios ou conjunto de municípios deve ter como foco principal as características qualitativas e quantitativas já definidas.

Vale observar que as regiões qualitativamente mais importantes requerem uma diminuição no número de interrupções (FEC), sem entretanto alterar os níveis de duração média de interrupção (DMI). O FEC por sua vez é principalmente dependente da tecnologia utilizada para construção e manutenção das redes, fator intimamente relacionado com a eficácia do serviço e que, as regiões quantitativamente mais importantes solicitam uma melhoria no tempo de restabelecimento que é diretamente proporcional à duração das interrupções (DEC). O tempo de restabelecimento é principalmente dependente dos recursos disponíveis em redes e em turmas de operação e manutenção, o que representa a eficiência do serviço.

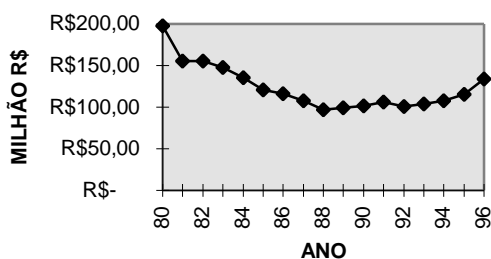
Análise do Desempenho Histórico do Sistema Distribuidor.

A partir dos valores de DEC e FEC e DMI da distribuição, no período de 1980 a 1996, verificados no 23 atuais conjuntos de consumidores e dos custos unitários de interrupção por município e por conjunto foram calculados os valores de custos das perdas anuais devido às interrupções conforme descrito a seguir:

$$\begin{aligned} \text{CPSi} &= \text{DEC}_i \cdot \text{CIU}_i \\ \text{CPSi} &= \text{Custo Anual de Perdas Sociais do Conjunto } i \text{ [R\$]} \\ \text{DEC}_i &= \text{DEC Anual do Conjunto } i \text{ [hora]} \\ \text{CIU}_i &= \text{Custo de Interrupção Unitário do Conjunto } i \text{ [R\$/hora]} \end{aligned}$$

| Ano | Custo de perdas R\$ |
|-----|---------------------|
| 80 | 197.772.395.66 |
| 81 | 155.512.718.81 |
| 82 | 155.442.840.07 |
| 83 | 147.565.810.41 |
| 84 | 135.093.882.04 |
| 85 | 120.872.907.51 |
| 86 | 116.300.165.12 |
| 87 | 108.065.322.17 |
| 88 | 97.032.205.57 |
| 89 | 99.125.609.94 |
| 90 | 101.872.322.88 |
| 91 | 106.135.603.70 |
| 92 | 100.917.372.74 |
| 93 | 104.202.779.73 |
| 94 | 107.956.017.62 |
| 95 | 115.085.666.60 |
| 96 | 133.613.832.53 |

Através do gráfico a seguir verifica-se a oscilação destes custos no período analisado;



As perdas sociais atingiram seu mínimo no ano de 1988 com valor de R\$ 97.032.205,57, para a área de Concessão, relativo a um FEC de 976 e um DEC de 1133 globais. Após este ano, os custos de perdas tem aumentado de forma gradativa chegando ao valor de R\$ 133.613.832.53 no ano passado equivalente à situação apresentada a cerca de 10 anos atrás.

Verifica-se que em níveis globais os valores de DEC e FEC tem melhorado, o que não significa uma melhoria nas perdas sociais, devido ao impacto das interrupções ser diferente em cada um dos conjuntos de consumidores; o que vem enfatizar a metodologia proposta por este trabalho onde as exigências com relação aos índices de confiabilidade devem ser feitas conforme as características intrínsecas de cada município.

| Ano | DEC - global | FEC - global |
|-----|--------------|--------------|
| 84 | 15.53 | 11.80 |
| 85 | 14.01 | 11.60 |
| 86 | 13.11 | 10.74 |
| 87 | 12.12 | 10.08 |
| 88 | 11.33 | 9.76 |
| 89 | 11.50 | 8.77 |
| 90 | 11.90 | 8.64 |
| 91 | 12.46 | 8.41 |
| 92 | 11.99 | 8.42 |
| 93 | 12.23 | 9.10 |
| 94 | 12.74 | 9.03 |
| 95 | 13.39 | 9.45 |
| 96 | 11.78 | 7.46 |

Proposta de Novos Conjuntos de Consumidores

Considerando a futura situação elétrica e administrativa dos municípios, devido à nova realidade do setor, elétrico, viu-se por bem a reavaliação dos atuais conjuntos de consumidores.

Atualmente a Área de Concessão da Eletropaulo é dividida em 23 conjuntos para fins de acompanhamento dos índices de continuidade porém, dois destes conjuntos possuem municípios em áreas elétricas diferentes, a saber:

Conjunto 01 - Composto por São Guarulhos ABC e Superintendência de Distribuição Sudoeste e Conjunto 07 - Composto por Santa Branca, Guararema e Jacarei.

Diante deste quadro, decidiu-se por reorganizar os conjuntos de forma que os municípios integrantes possuam características semelhantes e interação elétrica. Assim sendo

chegou-se ao total de 26 conjuntos elétricos, cujas localidades principais são apresentadas a seguir:

| CJ | LOCALIDADE PRINCIPAL |
|----|-------------------------------|
| 1 | Área Central SP - Subterrâneo |
| 2 | São Paulo |
| 3 | Osasco |
| 4 | Barueri |
| 5 | Santana Parnaíba |
| 6 | Embu |
| 7 | Cajamar |
| 8 | Embu-Guaçu |
| 9 | São José dos Campos |
| 10 | Jacareí |
| 11 | Taubaté |
| 12 | Guaratinguetá |
| 13 | São Sebastião |
| 14 | Caçapava |
| 15 | Jundiá |
| 16 | Sorocaba |
| 17 | Indaiatuba |
| 18 | São Roque |
| 19 | Boituva |
| 20 | Santos |
| 21 | Guarujá |
| 22 | Guarulhos |
| 23 | Mogi das Cruzes |
| 24 | Guararema |
| 25 | Salesópolis |
| 26 | São Bernardo do Campo |

Definição de Parâmetros para Simulação de Índices DEC e FEC

A partir dos custos de interrupção anuais apresentados determinou-se que numa primeira etapa, o parâmetro a ser utilizado será o de custo mínimo no período analisado (1980-1996).

Ou seja, buscar-se á uma condição melhor do que a atual e já alcançada num outro momento não sendo necessariamente a ideal.

Assim sendo, várias simulações de índices DEC e FEC serão feitas a fim de se obter um custo global aproximado de R\$ 97.032.205.57 apresentado em 1988.

As alternativas de índices devem ser propostas de forma a diferenciar os conjuntos de acordo com Grupo Homogêneo e com a Classe de Impacto a que pertencem.

A simulação de índices foi feita arbitrando-se valores de FEC para os 5 Grupos Homogêneos e valores de DMI para as 4 Classes de Impacto. Foram feitas 6 hipóteses de variações de FEC e 7 de DMI.

Cada uma das hipóteses de FEC foi simulada com cada uma das hipótese de DMI, resultando nos valores de DEC para cada uma das células "Classe de Impacto x Grupo Homogêneo", compondo 42 possibilidades de combinações

HIPÓTESES DE FEC

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|
| GPO A | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 |
| GPO B | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 |

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| GPOC | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 |
| GPOD | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 |
| GPOE | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 |

| | |
|---|------|
| E | 22,5 |
|---|------|

Valores anuais de DEC, FEC e DMI sugeridos para os novos conjuntos

De acordo com o resultado obtido, os valores de DEC, FEC, DMI sugeridos por conjunto são apresentados a seguir:

| CJ | DEC | FEC | DMI |
|----|------|------|-----|
| 1 | 10,4 | 12,5 | 50 |
| 2 | 10,4 | 12,5 | 50 |
| 3 | 10,4 | 12,5 | 50 |
| 4 | 12,5 | 15,0 | 50 |
| 5 | 22,5 | 22,5 | 60 |
| 6 | 16,0 | 17,5 | 55 |
| 7 | 16,0 | 17,5 | 55 |
| 8 | 21,7 | 20,0 | 65 |
| 9 | 10,4 | 12,5 | 50 |
| 10 | 13,8 | 15,0 | 55 |
| 11 | 13,8 | 15,0 | 55 |
| 12 | 17,5 | 17,5 | 60 |
| 13 | 16,0 | 17,5 | 55 |
| 14 | 17,5 | 17,5 | 60 |
| 15 | 12,5 | 15,0 | 50 |
| 16 | 12,5 | 15,0 | 50 |
| 17 | 16,0 | 17,5 | 55 |
| 18 | 17,5 | 17,5 | 60 |
| 19 | 17,5 | 17,5 | 60 |
| 20 | 12,5 | 12,5 | 50 |
| 21 | 18,3 | 20,0 | 55 |
| 22 | 10,4 | 12,5 | 50 |
| 23 | 13,8 | 15,0 | 55 |
| 24 | 20,0 | 20,0 | 60 |
| 25 | 24,4 | 22,5 | 65 |
| 26 | 10,4 | 12,5 | 50 |

HIPÓTESES DE DMI

| | DM1 | DM2 | DM3 | DM4 | DM5 | DM6 | DM7 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| CI1 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
| CI2 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| CI3 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 |
| CI4 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |

MATRIZ DE HIPÓTESES $F_i \times DMI_j$ $1 \leq i \leq 6$ e $1 \leq j \leq 7$

| $DMI_1 \times F_1$ | $DMI_1 \times F_2$ | $DMI_1 \times F_3$ | $DMI_1 \times F_4$ | $DMI_1 \times F_5$ | $DMI_1 \times F_6$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $DMI_2 \times F_1$ | $DMI_2 \times F_2$ | $DMI_2 \times F_3$ | $DMI_2 \times F_4$ | $DMI_2 \times F_5$ | $DMI_2 \times F_6$ |
| $DMI_3 \times F_1$ | $DMI_3 \times F_2$ | $DMI_3 \times F_3$ | $DMI_3 \times F_4$ | $DMI_3 \times F_5$ | $DMI_3 \times F_6$ |
| $DMI_4 \times F_1$ | $DMI_4 \times F_2$ | $DMI_4 \times F_3$ | $DMI_4 \times F_4$ | $DMI_4 \times F_5$ | $DMI_4 \times F_6$ |
| $DMI_5 \times F_1$ | $DMI_5 \times F_2$ | $DMI_5 \times F_3$ | $DMI_5 \times F_4$ | $DMI_5 \times F_5$ | $DMI_5 \times F_6$ |
| $DMI_6 \times F_1$ | $DMI_6 \times F_2$ | $DMI_6 \times F_3$ | $DMI_6 \times F_4$ | $DMI_6 \times F_5$ | $DMI_6 \times F_6$ |
| $DMI_7 \times F_1$ | $DMI_7 \times F_2$ | $DMI_7 \times F_3$ | $DMI_7 \times F_4$ | $DMI_7 \times F_5$ | $DMI_7 \times F_6$ |

Determinação do custo associado a cada alternativa

Para cada uma das células da matriz Grupo Homogêneo X Classe de Impacto foram totalizados os custos de interrupção R\$/hora dos diversos conjuntos que as compõem, resultando na Matriz de Custos Unitários.

| | CI4 | CI3 | CI2 | CI1 |
|---|-----------|------------|------------|--------------|
| A | | | | R\$5.502.454 |
| B | | | R\$375.876 | R\$1.323.044 |
| C | R\$22.584 | R\$263.085 | R\$505.257 | |
| D | R\$42.695 | R\$ 60.420 | R\$ 55.276 | |
| E | R\$16.423 | R\$ 16.377 | | |

Aplicando-se esta matriz a cada uma das alternativas chega-se ao custo de interrupção referente a cada uma delas conforme apresentado a seguir:

MATRIZ DE CUSTOS PARA HIPÓTESES R\$ x 1000

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| DMI1 | 39.546 | 55.278 | 71.010 | 96.742 | 102.474 | 118.205 |
| DMI2 | 43.766 | 61.203 | 78.639 | 96.076 | 113.513 | 130.950 |
| DMI3 | 47.986 | 67.127 | 86.269 | 105.410 | 124.552 | 143.684 |
| DMI4 | 52.205 | 73.052 | 93.898 | 114.745 | 135.591 | 156.438 |
| DMI5 | 56.425 | 78.976 | 101.528 | 124.079 | 146.630 | 169.182 |
| DMI6 | 60.644 | 84.901 | 109.157 | 133.413 | 157.670 | 181.926 |
| DMI7 | 64.864 | 90.826 | 116.786 | 142.748 | 168.709 | 184.670 |

Conforme definido anteriormente busca-se atingir o custo de R\$ 97.032.205,57. verifica-se na matriz que o valor mais próximo é de R\$ 96.076.610,83 que corresponde à hipótese 4 de FEC e 2 de DMI

| Grupo Homogêneo | FEC |
|-----------------|------|
| A | 12,5 |
| B | 15 |
| C | 17,5 |
| D | 20 |

| CLI | DMI |
|-----|-----|
| 1 | 50 |
| 2 | 55 |
| 3 | 60 |
| 4 | 65 |

Determinação de Índices DEC e FEC para Circuitos de Distribuição

Considerando que a cultura da Eletropaulo na utilização dos índices de confiabilidade a nível de circuitos é bastante desenvolvida, buscou-se obter os mesmos através da aplicação do índice de Gini que é um número adimensional que mede a concentração do desempenho dos circuitos em relação à área analisada (conjunto) determinado pela seguinte equação:

$$GINI = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\phi_{i-1} + \phi_i)$$

onde

$$\phi_i = \frac{1}{n\mu} \sum_{j=1}^i x_j$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

O índice de Gini igual a zero representa uma distribuição totalmente uniforme dos desempenhos dos vários circuitos que compõem o conjunto. Neste caso, supõe-se que todas as características dos circuitos são bastante parecidas, devendo-se portanto esperar desempenhos iguais ou uniformes para todos os circuitos do conjunto.

O índice de Gini igual a um indica que todo índice verificado no conjunto encontra-se 100% concentrado em um único elemento.

Na prática, os valores do índice de Gini oscilam entre estes dois valores, sem contudo atingi-los.

Quanto mais próximo de zero, entretanto, o índice de Gini, mais uniforme deve ser a distribuição do desempenho dos circuitos do conjunto, fazendo com que o índice DEC ou FEC dos circuitos tendam a ser iguais aos globais do conjunto. De modo inverso, quanto mais aproximado for, o índice de Gini, do valor um mais discrepantes serão os valores assumidos pelos circuitos em relação ao conjunto como um todo.

Este comportamento pode ser modelado da seguinte forma:

$$DI = \frac{DG}{1 - GINI}$$

onde:

DI é o índice de desempenho de um determinado circuito do conjunto considerado

DG é o índice de desempenho global do conjunto

GINI é o índice de GINI que mede a concentração do desempenho dos circuitos em relação ao conjunto a que pertencem.

Para aplicação dos índices de Gini para obtenção dos índices DEC e FEC por circuito utilizaremos a seguinte nomenclatura:

GDEC = índice de Gini referente ao DEC

GFEC = índice de Gini referente ao FEC

$1/(1-GDEC)$ = multiplicador para se obter o valor de DEC por circuito

$1/(1-GFEC)$ = multiplicador para se obter o valor de DEC por circuito

A seguir são apresentados os valores dos multiplicadores para DEC e FEC por conjunto de consumidores e, juntamente com os valores sugeridos de DEC e FEC por circuito, por conjunto.

| CJ | IND DEC | IND FEC | DEC cir | FEC cir |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 ¹ | | | 10,4 | 12,5 |

¹ Devido à concentração dos índices em poucos circuitos deste conjunto, o índice de Gini ficou muito próximo do valor 1, distorcendo a análise. Os valores obtidos a nível de conjunto podem ser

| | | | | |
|----|------|------|------|------|
| 2 | 2,06 | 1,77 | 21,5 | 22,1 |
| 3 | 1,66 | 1,41 | 17,3 | 17,6 |
| 4 | 1,71 | 1,49 | 21,4 | 22,4 |
| 5 | 1,84 | 1,6 | 41,4 | 36,0 |
| 6 | 1,7 | 1,56 | 27,3 | 27,3 |
| 7 | 1,99 | 1,89 | 31,9 | 33,1 |
| 8 | 1,01 | 1,08 | 21,9 | 21,6 |
| 9 | 2,03 | 4,11 | 21,2 | 51,4 |
| 10 | 1,55 | 1,4 | 21,3 | 21,0 |
| 11 | 2,25 | 2,0 | 30,9 | 30,2 |
| 12 | 1,84 | 1,85 | 32,2 | 32,4 |
| 13 | 2,18 | 1,81 | 35,0 | 31,7 |
| 14 | 1,85 | 1,74 | 32,4 | 30,5 |
| 15 | 1,53 | 1,31 | 19,1 | 19,7 |
| 16 | 1,6 | 1,27 | 20,0 | 19,1 |
| 17 | 1,85 | 1,58 | 29,7 | 27,7 |
| 18 | 1,52 | 1,48 | 26,6 | 25,9 |
| 19 | 1,6 | 1,39 | 28,0 | 24,3 |
| 20 | 2,04 | 1,68 | 25,5 | 21,0 |
| 21 | 1,19 | 1,12 | 21,8 | 22,4 |
| 22 | 1,98 | 1,73 | 20,6 | 21,6 |
| 23 | 1,66 | 1,63 | 22,8 | 24,5 |
| 24 | 0,89 | 0,93 | 17,8 | 18,6 |
| 25 | 1,86 | 2,09 | 45,3 | 47,0 |
| 26 | 1,84 | 1,62 | 19,2 | 20,3 |

Conclusão

O objetivo do trabalho foi de promover um melhor conhecimento das necessidades de confiabilidade do mercado consumidor, considerando suas características quantitativas e qualitativas.

Os novos índices sugeridos devem ser objeto de acompanhamento, controle e atualização, de forma a embasar e direcionar as políticas de atendimento da Empresa aos seus consumidores. Importante ressaltar a necessidade de se buscar sempre a melhoria destes índices não perdendo de vista o fator “Custo Global” associado a cada um deles.

extrapolados para os circuitos por se apresentarem bastante conservativos.

