



06 a 10 de Outubro de 2008
Olinda - PE

Nome do Trabalho Técnico

Previsão do mercado faturado mensal a partir da carga diária de uma distribuidora de energia elétrica

Laucides Damasceno Almeida	Márcio Berbert Voss	Aline Fróes
Coelba	Coelba	Coelba
lalmeida@coelba.com.br	mvoss@coelba.com.br	afroes@coelba.com.br

PALAVRAS CHAVE:

**Distribuição de energia elétrica,
Perdas de energia elétrica, Previsão de
mercado**

DADOS DA EMPRESA:

Nome: Coelba
Endereço: Avenida Edgard Santos, 300,
Narandiba
Telefone/fax: 3370-5926/5922

RESUMO

A previsão do consumo faturado mensal é de fundamental importância para uma concessionária de distribuição de energia elétrica, de maneira que as empresas do setor direcionam esforços para desenvolver alternativas de métodos preditivos. Neste sentido, este trabalho técnico tem como objetivo descrever uma metodologia para a previsão do consumo faturado mensal através da sua correlação estatística com a carga diária da distribuidora, partindo da premissa de que a carga é um indicador antecedente do consumo, ou seja, a carga sinaliza antecipadamente a tendência do consumo faturado.

Uma das principais aplicações da metodologia proposta é a elaboração de um melhor planejamento para as ações de recuperação de perdas de energia elétrica, visto que aponta com boa confiabilidade a tendência do montante das perdas no mês de referência ou em um determinado período à frente.

1. INTRODUÇÃO

O uso da energia elétrica pelo mercado de uma concessionária de distribuição é monitorado principalmente através das grandezas **carga** e **consumo**. Trata a primeira do consumo no atacado: a carga é medida em pontos específicos da rede básica, a malha de transmissão em alta tensão. A segunda refere-se ao uso final pela unidade consumidora, medido no ponto de utilização da energia. É importante salientar que a carga trata de valores medidos na saída dos pontos de suprimento dos agentes de geração, enquanto o consumo está relacionado aos valores que têm como base o faturamento dos agentes de comercialização e distribuição junto a seus consumidores. A diferença entre os volumes de carga e consumo inclui, portanto, perdas e diferenças. Não apenas perdas técnicas,

mas também o que se convencionou chamar de perdas comerciais, que incluem furto, deficiência na medição, erros de medição e outras diferenças. Dessas parcelas, dependendo da região, uma das mais representativas é o furto. Não por acaso, a redução das perdas tem sido uma preocupação constante das companhias distribuidoras.

Neste trabalho técnico é relatada uma metodologia que utiliza a carga diária de energia elétrica como subsídio à previsão do consumo faturado mensal da distribuidora, fazendo uso do modelo estatístico de regressão linear entre as duas variáveis. As hipóteses para esta abordagem são:

- i) A carga de energia, ou requisito de energia, é um reflexo direto e agregado do consumo final dos diferentes segmentos (residencial, comercial, industrial, rural e serviços públicos), incluindo-se as perdas do processo;
- ii) A carga de energia é um indicador antecedente do consumo, ou seja, a carga sinaliza antecipadamente a tendência do consumo faturado. Tal suposição baseia-se no fato de existir uma defasagem temporal entre os registros da energia requisitada pela rede de distribuição e o consumo final apurado, para fins de faturamento, nas unidades consumidoras que não dispõem de telemedição.

Para subsidiar o processo de previsão do consumo faturado mensal, as informações seguintes são de relevante importância:

- O ciclo médio de leitura planejado e executado, para os consumidores atendidos em alta e baixa tensão (grupos A e B, respectivamente);
- A informação do consumo faturado mensal da concessionária, para compor a série histórica da variável explicada;
- A informação da carga diária da distribuidora, para compor a série histórica da variável explicativa;
- O montante de energia faturada, proveniente dos processos de recuperação de perdas comerciais.

Este trabalho técnico está organizado em quatro seções, incluindo esta introdução. Em seguida são apresentados a metodologia (seção 2), incluindo três subseções, e os resultados obtidos (seção 3) quando a mesma foi aplicada à distribuidora Coelba (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia). Ao final, nas conclusões (seção 4), aponta-se como uma das principais aplicações da metodologia a elaboração de um melhor planejamento para as ações de recuperação de perdas, visto que antecipa com boa confiabilidade a tendência do montante das perdas no mês de referência ou em um determinado período à frente.

2. METODOLOGIA

São descritas a seguir as premissas para a metodologia adotada, a caracterização das séries e a especificação dos modelos estatísticos de correlação entre as variáveis.

2.1. Premissas

O fator defasagem entre a carga de uma distribuidora e o consumo final do seu mercado se caracteriza pela não coincidência entre os períodos de compra e venda da energia. A FIGURA 1 ilustra o exemplo de um consumo medido e faturado no dia 2 de cada mês: a energia faturada no mês “B” foi quase toda consumida no mês “A”, logo foi computada na carga do mês “A”.

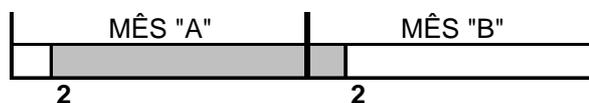


FIGURA 1 – Defasagem entre carga e consumo

Ao se considerar este conceito no faturamento real de uma distribuidora, conclui-se que, quando a carga média aumenta ou diminui, o fenômeno da defasagem pode ocorrer com maior intensidade. Porém, tal fenômeno é de difícil mensuração, pois é influenciado pela variação do ciclo de faturamento, pelo incremento de consumidores e pela sazonalidade de grandes clientes, entre outros fatores. Para evitar tal efeito, seria necessário que todos os consumidores fossem faturados no último dia do mês, o que é bastante difícil, dado o elevado número de leituras a realizar.

A carga de energia elétrica é acompanhada de acordo com o calendário civil do mês corrente, daí a regularidade da série, que apresenta um comportamento típico semanal, com tendência de baixa nos finais de semana e feriados. O consumo faturado diário de uma concessionária de distribuição, por sua vez, é computado apenas nos dias úteis, não sendo apurado aos sábados, domingos e feriados. O consumo faturado diário é reflexo do calendário de leitura, estabelecido pela distribuidora para o mês de referência, e sujeito a limitações pela regulação do setor elétrico.

O GRÁFICO 1 mostra a comparação entre a carga diária e o consumo faturado ao longo de um mês de uma distribuidora típica. Enquanto a carga diária apresenta um comportamento semanal regular, o consumo faturado diário é irregular, sem registro nos finais de semana e com uma concentração de cerca de 30% do consumo no último dia do mês, quando normalmente são faturados os clientes de grande consumo e os serviços públicos.

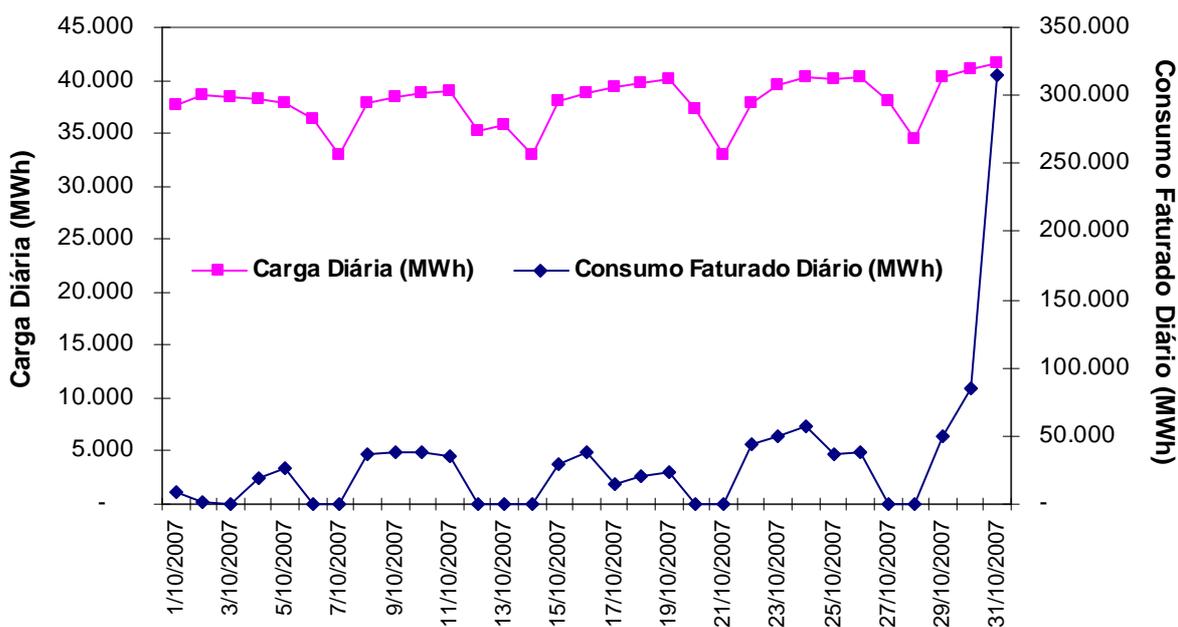


GRÁFICO 1 – Comparação entre carga e consumo faturado diários

Tal comportamento dificulta sobremodo a utilização da carga diária para a previsão do consumo faturado diário, de maneira que o estabelecimento de uma relação entre as séries diárias de carga e consumo faturado requer um mecanismo de equiparação das informações para posterior análise. A opção adotada na metodologia aqui abordada foi a confrontação entre uma **carga média diária**, calculada com base no calendário civil, e um **consumo faturado médio diário**, tendo como referência o ciclo médio de leitura, conforme o calendário de faturamento.

Outra premissa adotada neste trabalho técnico é o uso apenas do histórico da carga diária, evitando-se a utilização de previsões de carga. Uma razão fundamental para tal consideração é evitar a introdução de mais uma incerteza no processo. Entretanto, nas situações em que há uma consistente tendência de inflexão da carga futura em função, por exemplo, de entrada ou saída de consumidores de grande porte, a previsão de carga deve ser considerada.

2.2. Caracterização das séries de previsão

As séries históricas usadas para as previsões são de dois tipos: o consumo faturado médio diário e a carga média diária. O consumo faturado médio diário, que compõe a série para a previsão do consumo mensal, é calculado conforme exemplo a seguir:

$$\text{Abril/07: } 932.162 \text{ (MWh)} / 29,89 \text{ dias (ciclo de abril)} = \text{31.186 MWh/dia}$$

Ciclo de leitura



Média ponderada do
calendário dos grupos A e B

Em suma, o consumo faturado médio diário é resultante da relação entre o consumo faturado mensal e o ciclo médio de leitura dos grupos A e B para o mês de referência, ponderado pela participação dos respectivos grupos no consumo faturado total. A previsão do consumo faturado mensal é obtida a partir do produto da previsão do consumo faturado médio diário pelo ciclo médio de leitura planejado para os grupos A e B, conforme ilustrado a seguir:

$$\text{Maio/07: } 30.767 \text{ (MWh)} \times 29,59 \text{ dias (ciclo de maio)} = 910.484 \text{ MWh}$$



Faturamento médio
diário previsto

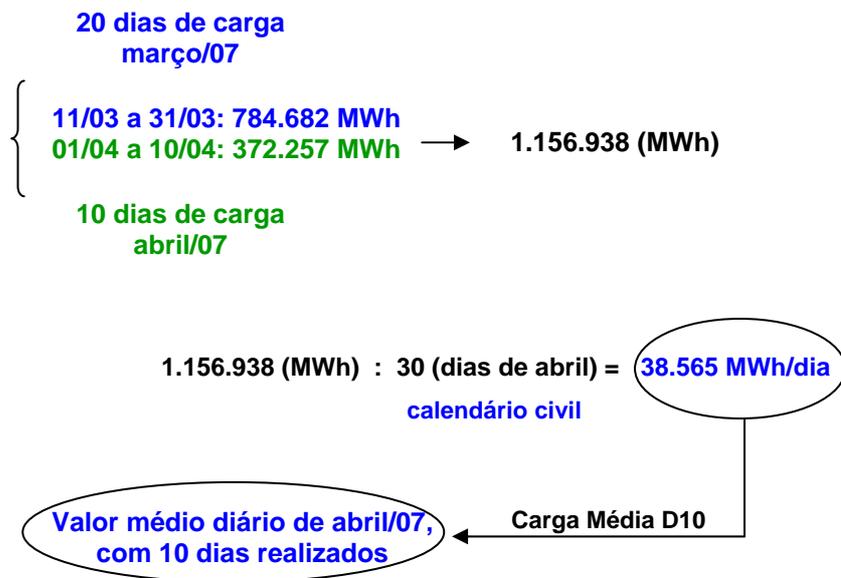


Ciclo de leitura



Faturamento
mensal previsto

O cálculo da carga média diária pode ser assim exemplificado:



Em outras palavras, a previsão do consumo faturado de abril com 10 dias de carga realizada no mesmo mês, leva em conta ainda 20 dias de carga do mês de março para completar o período mensal de abril, cujo calendário civil é de 30 dias.

Deste modo, a previsão do consumo faturado médio diário pode ser obtida em função das séries de carga média diária com defasagem de um dia (CarD1), de dois dias (CarD2), de três dias (CarD3), dentre outros e até mesmo defasagem de um mês (CarM1), em conformidade com a TABELA 1.

MWh	Fat. Médio	CarD1	CarD2	CarD3	CarD4	CarD5	CarM1
jan/05	28.047	33.163	33.004	32.973	33.047	33.234	33.278
fev/05	27.712	33.462	33.443	33.428	33.457	33.491	36.661
mar/05	27.896	33.244	33.497	33.604	33.636	33.584	30.130
abr/05	27.654	34.116	33.971	33.717	33.705	33.839	35.385
mai/05	27.485	33.545	33.456	33.449	33.554	33.507	32.639
jun/05	27.541	32.703	32.768	32.832	32.805	32.634	33.546
jul/05	27.043	32.220	32.104	31.932	31.894	31.958	31.154
ago/05	26.732	31.737	31.824	31.979	31.996	31.990	31.760
set/05	27.375	32.366	32.420	32.403	32.269	32.362	33.395
out/05	28.255	33.576	33.430	33.437	33.537	33.761	32.506
nov/05	29.393	35.109	35.003	35.024	35.043	34.964	35.991
dez/05	28.428	33.790	33.760	33.807	33.566	33.451	32.667
jan/06	28.963	33.798	33.730	33.791	34.012	34.109	34.012
fev/06	30.096	35.502	35.539	35.590	35.630	35.660	38.874
mar/06	29.938	35.842	35.865	35.877	35.824	35.688	32.305
abr/06	28.717	35.203	34.906	34.841	34.903	34.792	36.539
mai/06	28.907	33.096	33.182	33.400	33.474	33.528	32.153
jun/06	27.631	33.233	33.147	32.986	32.702	32.669	34.259
jul/06	27.058	32.035	31.858	31.818	31.861	32.034	31.041
ago/06	28.845	32.675	32.913	33.008	33.082	33.075	32.529
set/06	28.467	34.020	33.935	33.764	33.855	34.116	35.226
out/06	29.230	34.411	34.445	34.585	34.826	34.871	33.447
nov/06	29.334	34.945	34.769	34.699	34.586	34.367	35.947
dez/06	27.548	34.894	34.890	34.872	34.929	35.054	33.674
jan/07	30.334	36.133	36.175	36.392	36.422	36.434	36.371
fev/07	31.076	38.126	38.182	38.198	38.171	38.110	41.819
mar/07	29.580	35.412	35.317	35.132	34.850	34.749	31.661
abr/07	30.890	36.827	37.004	37.316	37.431	37.477	38.152
mai/07	31.545	36.646	36.762	36.728	36.646	36.498	35.583
jun/07	29.534	36.595	36.454	36.219	36.263	36.445	37.717
jul/07	29.941	35.137	34.967	35.027	35.207	35.198	34.153
ago/07	29.717	35.387	35.527	35.542	35.473	35.296	35.225
set/07	30.208	35.540	35.382	35.454	35.668	35.734	36.758
out/07	31.623	36.259	36.381	36.600	36.657	36.676	35.043
nov/07	32.718	38.112	38.053	38.020	37.881	37.987	39.267
dez/07	31.108	38.459	38.141	38.180	38.236	38.424	37.324

TABELA 1 – Séries de consumo médio diário e cargas médias diárias defasadas

Vale salientar que a série de consumo faturado sofre um tratamento, expurgando-se o consumo faturado via processo de recuperação de perdas comerciais. Dessa forma, a idéia é buscar a correlação entre a carga média diária defasada e o consumo faturado médio diário na sua base pura, sem sofrer influência de montante de energia recuperada (faturamento retroativo), que não tem correspondência na carga do mês em curso.

2.3. Especificação dos modelos estatísticos

Foram especificados modelos estatísticos, relacionando cada par de séries da TABELA 1, formado pelo consumo faturado médio diário (variável explicada) e a carga média diária defasada (variável

explicativa), através da regressão linear entre as variáveis. O GRÁFICO 2, da dispersão entre as séries, mostra um exemplo de correlação com ajuste de 85,43%.

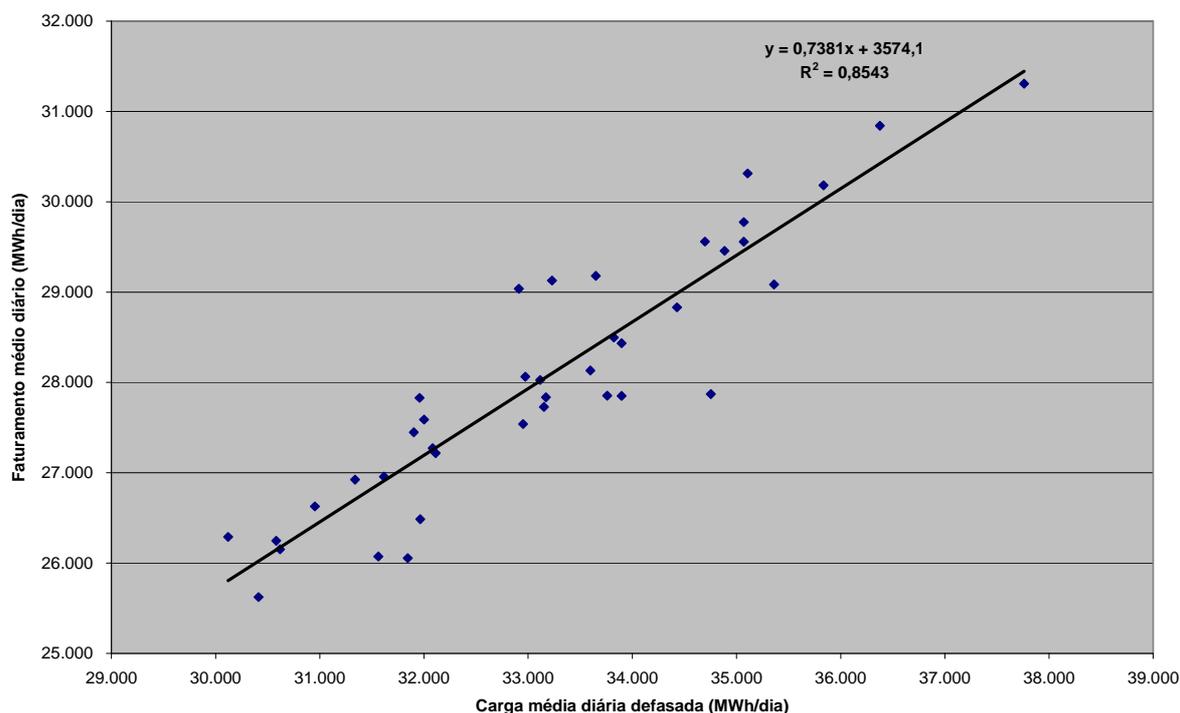


GRÁFICO 2 – Faturamento x Carga defasada

A modelagem regressiva neste estudo utiliza o software Forecast Pro for Windows (FPW) e os principais parâmetros considerados para análise dos resultados das previsões são o erro médio percentual do modelo preditivo e o grau de ajustamento do modelo escolhido.

Como há o risco de se obter resultados aparentemente significativos a partir de dados não relacionados, quando se faz análise de regressão com séries não estacionárias, as chamadas “regressões espúrias”, é utilizada a regra empírica, citada por Hill (2003, p.394): se o valor de R^2 é maior que a estatística de Durbin-Watson, deve-se suspeitar de uma regressão espúria.

3. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos pela Coelba, distribuidora cuja área de concessão abrange 563.309 km², atendendo 415 dos 417 municípios do estado da Bahia, com a aplicação da metodologia descrita, no período de janeiro a dezembro de 2007.

Foram realizadas previsões semanais de consumo faturado mensal, considerando a média diária da carga acumulada entre a data da medição mais recente, normalmente o dado obtido às terças-feiras, e a data retroativa equivalente à quantidade de dias do mês de referência, conforme detalhado na subseção 2.2, da caracterização das séries de previsão. Os resultados dos valores previstos e verificados, bem como dos desvios encontrados, são apresentados na TABELA 2.

Mês	Semana	Valor previsto (MWh)	Valor verificado (MWh)	Desvio (%)	Desvio médio (%)	Desvio médio acumulado (%)
jan/07	1	943.022		0,06	0,06	0,06
	2	943.022		0,06	0,06	0,06
	3	937.196	942.428	-0,56	-0,14	-0,14
	4	937.196		-0,56	-0,25	-0,25
fev/07	1	908.225		0,16	0,16	-0,16
	2	908.225		0,16	0,16	-0,11
	3	908.225	906.771	0,16	0,16	-0,07
	4	908.225		0,16	0,16	-0,04
mar/07	1	914.359		2,85	2,85	0,28
	2	914.359		2,85	2,85	0,54
	3	914.359	889.031	2,85	2,85	0,75
	4	914.359		2,85	2,85	0,92
	5	914.359		2,85	2,85	1,07
abr/07	1	949.004		2,67	2,67	1,18
	2	930.801		0,70	1,69	1,15
	3	933.968	924.322	1,04	1,47	1,14
	4	933.529		1,00	1,35	1,14
	5	933.529		1,00	1,28	1,13
mai/07	6	935.176		-0,04	-0,04	1,07
	7	916.510		-2,03	-1,03	0,91
	8	907.128	935.512	-3,03	-1,70	0,72
	9	905.740		-3,18	-2,07	0,55
	10	906.529		-3,10	-2,28	0,39
jun/07	11	904.460		-1,63	-1,63	0,30
	12	902.608		-1,83	-1,73	0,22
	13	918.218	919.431	-0,13	-1,20	0,21
	14	924.488		0,55	-0,76	0,22
jul/07	15	877.824		-5,27	-5,27	0,02
	16	885.266		-4,46	-4,87	-0,13
	17	882.214	926.631	-4,79	-4,84	-0,29
	18	896.506		-3,25	-4,44	-0,38
ago/07	19	901.653		-2,23	-2,23	-0,44
	20	911.288		-1,18	-1,71	-0,46
	21	903.572	922.194	-2,02	-1,81	-0,51
	22	901.199		-2,28	-1,93	-0,56
set/07	23	903.089		-0,88	-0,88	-0,57
	24	905.285		-0,64	-0,76	-0,57
	25	916.641	911.115	0,61	-0,30	-0,54
	26	913.930		0,31	-0,15	-0,52
out/07	27	932.212		-5,26	-5,26	-0,64
	28	965.506		-1,88	-3,57	-0,67
	29	978.376	983.968	-0,57	-2,57	-0,66
	30	978.376		-0,57	-2,07	-0,66
	31	978.376		-0,57	-1,77	-0,66
nov/07	32	959.701		-3,99	-3,99	-0,73
	33	971.611		-2,80	-3,40	-0,78
	34	982.988	999.604	-1,66	-2,82	-0,80
	35	993.102		-0,65	-2,28	-0,79
dez/07	36	971.032		2,41	2,41	-0,73
	37	962.562		1,51	1,96	-0,68
	38	959.676	948.211	1,21	1,71	-0,65
	39	945.851		-0,25	1,22	-0,64

TABELA 2 – Desvios entre valores mensais previstos e verificados

Podem ser feitas as seguintes considerações com base nos resultados obtidos pela Coelba:

- Na última semana de cada mês, o desvio (%) foi geralmente menor, quando comparado com as demais semanas;
- De janeiro a dezembro, quatro meses apresentaram desvio médio (%), na última semana, positivo ou negativo acima de 2%: março, maio, julho e novembro;
- O desvio médio acumulado (%) sempre ficou abaixo dos 2%.

Além das considerações acima, foi constatado que os modelos de previsão especificados apresentaram grau de ajustamento geralmente superiores a 80% e estatística de Durbin-Watson com valores sempre superiores a 1. Dessa forma, destaca-se a forte correlação entre carga e consumo e pode-se descartar a ocorrência de regressões espúrias, conforme discutido na subseção 2.3.

Os modelos de previsão que apresentaram os menores desvios utilizaram a carga realizada entre 19 e 25 dias, indicando que a defasagem entre a carga e o consumo final na área de concessão da distribuidora deve se situar em tal intervalo.

Para a aplicação prática da metodologia da previsão do consumo faturado com base na carga diária ao processo de recuperação de perdas da Coelba no último bimestre de 2007, foram adotadas as seguintes considerações:

- a) Foram usadas as cargas médias diárias realizadas até o 20º dia do mês, com base na suposição de que tal dia garante uma previsão bem mais próxima da realidade, pois tem informação suficiente para subsidiar ações de recuperação de perdas com antecedência;
- b) Os consumos projetados foram ajustados aos ciclos de leitura previstos, perfazendo os respectivos faturamentos mensais;
- c) Tomou-se como valor previsto do consumo faturado a média das previsões baseadas nas cargas realizadas entre o 1º e o 20º dia de cada mês.

Confrontando-se os valores previstos e realizados, calculou-se o módulo do desvio em cada mês e, por consequência, o erro médio no período, conforme apresentado na TABELA 3.

Mês	Previsto	Realizado	Desvio (%)	Desvio Modular (%)
jan/07	949.707	942.428	0,77	0,77
fev/07	929.214	906.771	2,48	2,48
mar/07	869.910	889.031	-2,15	2,15
abr/07	937.433	924.322	1,42	1,42
mai/07	904.789	935.512	-3,28	3,28
jun/07	942.893	919.431	2,55	2,55
jul/07	907.777	926.631	-2,03	2,03
ago/07	920.850	922.194	-0,15	0,15
set/07	900.429	911.115	-1,17	1,17
out/07	961.209	983.968	-2,31	2,31
Erro médio (%)				1,83

TABELA 3 – Desvio de previsão de consumo com 20 dias de carga em cada mês

Com base no erro médio de 1,83%, foram calculados os limites inferior e superior de cada previsão de consumo faturado para os meses de novembro e dezembro, sendo atribuídos três valores de consumo para cada mês (limite inferior, valor médio e limite superior). Considerando fixas as previsões de carga e de energia entregue ao mercado livre para os meses de novembro e dezembro foram dimensionados, em cada cenário, os montantes de energia a recuperar para ser atingido o índice de perdas de energia esperado, definido como meta gerencial. A partir de tais informações, a área responsável pelas ações de recuperação de perdas elaborou seu planejamento de trabalho para os próximos sessenta dias.

4. CONCLUSÕES

Ao vincular o comportamento do consumo faturado ao da carga diária da distribuidora, a metodologia apresentada tem como principal vantagem o fato de usar uma variável explicativa que reflete o comportamento real do consumo, com medição confiável e boa previsibilidade no curto prazo.

Tal vantagem permite sinalizar, com pequena margem de erro, a tendência do volume das perdas globais de energia para mais de um mês além do corrente, possibilitando direcionar as ações de recuperação.

A metodologia de previsão do consumo faturado mensal a partir da carga diária de uma distribuidora de energia elétrica apresenta-se como alternativa aos esforços empreendidos pelas empresas do setor elétrico para um maior conhecimento do comportamento do seu mercado. O sucesso da sua aplicação dependerá, de qualquer modo, do contínuo intercâmbio de conhecimentos entre as áreas de leitura, faturamento, recuperação de perdas e previsão de mercado das distribuidoras.

5. REFERÊNCIAS

EPE. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, Ano I, nº. 04, janeiro de 2008, disponível em www.epe.gov.br.

HILL, R. Carter. Econometria. São Paulo. Ed. Saraiva, 2003, p. 394.

STELLWAGEN, Eric A., GOODRICH, Robert L., Forecast Pro User's Guide, BFS Inc., 2000.