Impactos sobre o consumo de energia elétrica: como quantificá-los?

Maria Da Glória Diniz De Almeida
José Camilo Savelli
Fragson Carlos Carvalho De Paula
José Glenio Medeiros De Barros
Cyro Alves Borges Junior
Roméria Rebelo Medeiros De Barros
Halley Salles Vieira

Resumo:

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a quantificação do impacto dos principais fatores de influência sobre o consumo de energia elétrica. Tal metodologia foi desenvolvida e aplicada na unidade industrial de fabricação de cabos e aros metálicos da Michelin - Itatiaia (RJ). Como resultado, esta ferramenta permitiu uma melhor compreensão do impacto que cada fator de influência tem sobre o consumo total, assim como permitiu identificar as causas das variações de consumo em relação ao previsto ao longo de um período.

Área temática: *Controladoria*

Impactos sobre o consumo de energia elétrica: como quantificá-los?

Maria da Glória Diniz de Almeida (Michelin - Brasil) gloria.almeida@br.michelin.com
José Camilo Savelli (Michelin - Brasil) camilo.savelli@br.michelin.com
Fragson Carlos Carvalho de Paula (Michelin - Brasil) fragson.carlos@br.michelin.com
José Glenio Medeiros de Barros (Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Brasil) glenio@uerj.br
Cyro Alves Borges Junior (Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Brasil) cyroborges@globo.com
Roméria Rebelo Medeiros de Barros (Univ. do Estado do Rio de Janeiro - Brasil) rorebelo@ig.com.br
Halley Salles Vieira (Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Brasil) halley.vieira@volkswagen.com.br

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para a quantificação do impacto dos principais fatores de influência sobre o consumo de energia elétrica. Tal metodologia foi desenvolvida e aplicada na unidade industrial de fabricação de cabos e aros metálicos da Michelin – Itatiaia (RJ). Como resultado, esta ferramenta permitiu uma melhor compreensão do impacto que cada fator de influência tem sobre o consumo total, assim como permitiu identificar as causas das variações de consumo em relação ao previsto ao longo de um período.

Palavras chave: Energia Elétrica, Análise de Custos, Análise de Efeitos.

Área Temática: Controladoria.

1. Introdução

Este estudo surgiu da necessidade de melhor compreensão das causas de variação do consumo de energia elétrica mensalmente.

A conta de energia elétrica tem grande representatividade no custo do produto fabricado pela unidade industrial em questão. Dessa forma, torna-se imperativa a boa compreensão das variações de consumo, assim como de seus custos.

Na situação inicial, partia-se de uma previsão mensal de produção e do histórico da influência da temperatura sobre o consumo de energia ao longo do ano, mas ainda assim os resultados nem sempre eram explicáveis em relação à previsão. Com a crise de 2001 dada a necessidade de racionamento do consumo de energia elétrica, a fábrica viu-se obrigada a estudar que produtos consumiam maior ou menor quantidade de energia, priorizando o que poderia ser produzido localmente e o que deveria ser importado de outras fábricas na Europa. Observou-se, então, uma diferença significativa de consumo de energia que existia entre os diferentes produtos. Por exemplo, enquanto o cabo metálico 27 consumia 4,171kWh/kg de produto final produzido, o produto 11 consumia 2,002kWh/kg. Mais uma vez, a crise gerou a oportunidade de quantificar o impacto que a variação de mix de produtos exercia sobre o consumo de energia. O estudo, portanto, levou à constatação de que não somente a variação do volume de produção causava oscilações no consumo global da fábrica, mas o mix de produção dos produtos tinha também sua influência. Além disso, este trabalho permitiu observar como a sucata gerada no processo perturba os resultados de consumo específico, mensurando-a.

Inicialmente, parte-se de uma previsão anual de orçamento, que leva em conta alguns fatores:

– previsão de produção anual em kg;

- preço unitário do kWh no momento da previsão;
- previsão de reajuste de tarifa, por vezes baseado na variação do dólar, em outras baseado nos reajustes já realizados por outras distribuidoras de energia elétrica no mesmo ano;
- ações para redução do consumo de energia elétrica, como instalação de equipamentos de melhor rendimento;
- variações de perímetro, que são variações que alteram o consumo de eletricidade, como instalação de um novo equipamento na produção, que não aumenta a produção, mas sim o valor agregado ao produto;
- previsão de consumo específico de energia elétrica, com base nos resultados atuais, ações para melhoria, variações de temperatura e variações de perímetro.

Com base nestes fatores, é estabelecida uma previsão anual de consumo total de energia.

Entretanto, a realização de consumo total mês a mês não apresenta o mesmo comportamento da previsão e, em função da forte representatividade deste custo nas despesas de exploração da fábrica, vem a necessidade do estudo das causas das variações. Para manter-se no previsto ou até mesmo fazer melhor que ele, é preciso progredir, e para progredir, o primeiro passo é compreender. Dessa forma, surge então a necessidade da criação de uma metodologia de análise, assim como uma ferramenta de atualização mensal deste custo.

Sabe-se que alguns fatores importantes ainda não são quantificados, como o efeito da variação de temperatura ambiente e da umidade no consumo total. Todavia, a falta desta informação precisa não deve servir como barreira impeditiva para que se caminhe neste sentido. Entende-se que este trabalho é o primeiro passo na compreensão dos fatores de influência sobre o consumo de energia.

Dessa forma, o trabalho busca identificar as principais causas de variação no consumo total de energia elétrica e quantificá-los, de maneira a permitir a evolução do domínio sobre a energia elétrica em algumas fases:

- fase 1: compreender mensalmente as causas de variação em relação à quantidade de energia prevista
- fase 2: melhorar a qualidade da previsão do consumo de energia e seus custos para uma reprevisão dos custos da empresa ao longo do tempo
- fase 3: identificar o efeito mix de produção, assim como o consumo específico de energia por produto, de forma a possibilitar a comparação deste valor com outras usinas, visando explicitar potenciais de melhoria de consumo específico.

2. Caracterização da empresa

A Fábrica de Cabos e Aros Metálicos da Unidade Industrial da Michelin localizada em Itatiaia(RJ) destina-se à produção das partes metálicas de pneumáticos – popularmente conhecidos como pneus – para ônibus, caminhões, automóveis e caminhonetes. São produtos semi-acabados.

Ela instalou-se no Brasil no final da década de 70, juntamente com sua Unidade Industrial de Campo Grande, destinada à produção de pneus para ônibus e caminhões. Já no ano de 1999 foi inaugurada, também em Itatiaia, a Fábrica de Pneus para Automóveis e Caminhonetes. Atualmente ela atende as unidades as unidades industriais citadas anteriormente, assim como o mercado externo, fabricando aros metálicos para o mercado norte-americano.

A Fábrica de produtos metálicos faz parte de um grupo de 10 outras usinas localizadas na Europa, América do Norte e Ásia, cujo objetivo é fornecer produtos para as fábricas de pneus do Grupo Michelin. As várias unidades industriais de pneus, semi-acabados metálicos e não-

metálicos fazem desta empresa uma das maiores do mundo no mercado de pneumáticos.

O site industrial da Michelin em Itatiaia comporta 3 atividades produtivas pertencentes ao Grupo Michelin na América do Sul, a saber:

- Recauchutagem RECAMIC – PLSA/R
- Fábrica de pneus de turismo e caminhonetes – TCAS/I
- Fábrica de cabos e aros metálicos – CPR/UAS

A conta de energia do site fornecida pela CERJ (concessionária de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro) apresenta o valor total consumido pelas 03 atividades. Internamente, por meio de medidores digitais, obtém-se os valores consumidos por cada uma delas separadamente. Portanto, o projeto apresentado refere-se somente as ações e benefícios alcançados na Fábrica de cabos e aros metálicos (CPR/UAS).

3. Revisão da literatura

A Função Produção dentro de uma empresa deve ser bem gerenciada para contribuir para o progresso do negócio. Segundo Slack et al (1999), ela tem três papéis básicos: servir como apoio à estratégia empresarial, ser implementadora da estratégia empresarial e impulsionar a estratégia empresarial.

Dentro deste contexto, a Produção tem cinco objetivos de desempenho principais, que são qualidade, flexibilidade, rapidez, confiabilidade e custo, não mais ou menos importantes e não necessariamente nesta ordem. O sucesso do negócio será resultado do desempenho destes cinco componentes em conjunto.

Para as empresas que concorrem diretamente em preço, o custo será seu principal objetivo de produção. Quanto menor o custo de produzir seus bens e serviços, menor pode ser o preço a sers consumidores. Mesmo aquelas empresas que concorrem em outros aspectos que não o preço estarão interessadas em manter seus custos baixos, visto que, com isso, podem aumentar sua margem de lucro, já que o preço é determinado pelo mercado.

Ainda segundo Slack et al (1999), o custo é afetado por outros objetivos de desempenho: alta qualidade pode significar custos baixos, uma vez que não desperdiçam tempo ou esforço em retrabalho e não incomodam o cliente; operações rápidas diminuem o nível de estoque em processo, bem como diminuem os custos administrativos indiretos; operações confiáveis não geram o prejuízo da interrupção e a perda da eficiência (as interrupções no fornecimento de energia elétrica de uma unidade industrial são extremamente penalizantes para a performance da mesma); as operações flexíveis contribuem para que se produza aquilo que é desejado pelo cliente, sem perda de tempo e capacidade.

Conforme Almeida (2001), produzir produtos com qualidade ou o "bom da primeira vez" evita a necessidade de uma nova produção para atender o cliente e a flexibilidade da produção é essencial para que se atenda de fato o cliente. Por vezes, vê-se a prática industrial buscando reduzir seus custos internos sem observar ou até mesmo negligenciando o mercado. Isso ocorre, por exemplo, no caso da produção de um produto que o mercado não compra. O custo do produto, embora excelente, não agrega valor à empresa, visto que será convertido em estoque e não em receita. O mercado que pede algum produto diferenciado não pode ser visto como ameaça externa, mas sim como oportunidade de conquistar clientes ainda não cativos de outro fornecedor. Assim, é preciso que se alinhe o funcionamento da indústria à estratégia empresarial, de forma que estas não se tornem incoerentes.

4. Desenvolvimento do trabalho e da ferramenta

4.1. Identificação dos fatores de influência no consumo de energia elétrica

A análise do consumo total de energia elétrica levou à identificação dos principais fatores de influência no consumo total de energia elétrica. Eles são mostrados no Tabela 1.

Consumo total de energia	Volume de produção previsto no Plano Anual	76%
	Efeito variação de volume	3%
	Efeito variação de *mix* de produção	-1%
	Efeito variação da sucata	3%
	Unidade de Produção de Fluidos	19%

Fonte: Setor de Gestão Industrial - Michelin

Tabela 1 – Desdobramento dos fatores de influência no consumo de energia elétrica

Por outro lado, o valor total pago de energia elétrica precisa considerar outros aspectos, como a variação do preço unitário e as provisões na conta de energia feita pelo setor de contabilidade.

A provisão ocorre em função do fato de que os custos de energia elétrica são pagos no mês seguinte ao consumo, ou seja, os custos de março são pagos no mês de abril, ocorrendo este mesmo evento em todos os meses. Como o valor da conta de energia é bastante significativo nos custos da fábrica, faz-se a provisão. Dessa forma, a provisão nada mais é que uma reserva financeira mensal que é feita para pagar a conta de energia do mês em questão e é descontada no mês seguinte.

Mas como quantificar estes efeitos? Até que ponto são realmente significativos no consumo de energia? É realmente interessante ter estas informações para a gestão do negócio? Estes aspectos serão abordados no item 4.11.

4.2. Determinação do consumo específico de energia para cada produto final

Passo 1: medição da quantidade de kW por subproduto

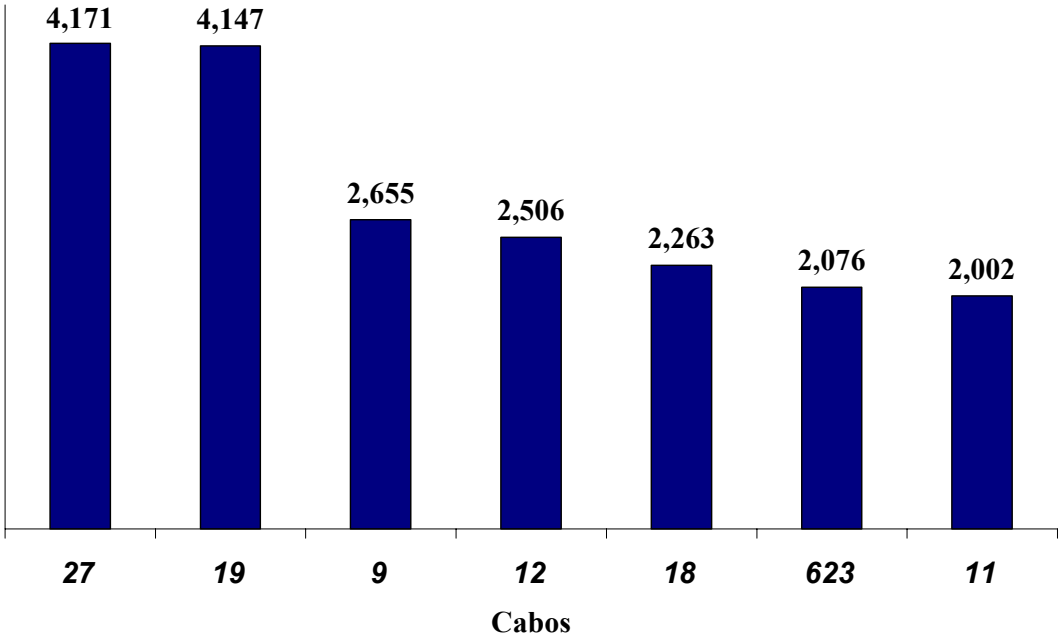
Foi feita a medição da quantidade de kW consumida por cada máquina do processo produtivo durante o seu funcionamento, que será identificada por $\mathbf{kW_1}$.

Passo 2: cálculo da energia total consumida

O sistema que define o programa de produção da fábrica é capaz de decompor toda a produção final em produtos intermediários, calculando quanto deve ser produzido em cada máquina para cada subproduto. Com isso, tem-se a produção necessária $\mathbf{Prod_1}$, já considerando a sucata do processo. Com os dados do setor de Engenharia Industrial sobre o tempo de funcionamento de máquina necessário para a produção de 1kg de subproduto, que se chamará $\mathbf{T_1}$, tem-se o tempo total necessário para a produção total do subproduto. A energia total necessária $\mathbf{E_1}$ é dada pela multiplicação destes fatores, como mostra a Equação 1.

$$\mathbf{E_1 = Prod_1 \times T_1 \times kW_1} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Assim, como citado anteriormente, 1 kg de produto final do cabo metálico 27 consume 4,171kWh, enquanto o produto 11 tem um consumo específico de 2,002kWh/kg. Isso mostra uma diferença de 108% de consumo entre os cabos, o que leva à identificação de que o *mix* de produção pode também influenciar a variação de consumo de energia elétrica. A Figura 1 mostra o consumo específico de energia por produto.



Fonte: Setor de Gestão Industrial - Michelin

Figura 1 – Consumo de energia elétrica por produto

4.3. Determinação do consumo de energia para uma dada produção

A informação de consumo de energia por produto permite calcular a quantidade de energia necessária para que se faça a produção prevista no plano anual mensalmente. Basta que se multiplique a produção prevista $\mathbf{Prod_{PA}}$ pelo consumo específico de cada produto final $\mathbf{E_1}$, que será chamada de $\mathbf{E_{prod\text{-}PA}}$.

Por outro lado, também se pode quantificar a energia consumida pela produção real $\mathbf{Prod_{Real}}$, que será chamada de $\mathbf{E_{prod\text{-}Real}}$.

4.4. Determinação do efeito volume de produção

Considerando que a energia consumida pela produção prevista no plano anual é dada por $\mathbf{E_{prod\text{-}PA}}$, pode-se calcular a energia necessária somente pelo efeito volume $\mathbf{E_{ef\text{-}volume}}$. Observe a Equação 2.

$$\mathbf{E_{ef\text{-}volume} = E_{prod\text{-}PA} / Prod_{PA} \times Prod_{Real}} \qquad \text{(Equação 2)}$$

O efeito volume de produção $\mathbf{EF_{volume}}$ é dado pela diferença entre a energia necessária pelo efeito volume e a energia estimada no plano anual, como mostra a Equação 3.

$$\mathbf{EF_{volume} = E_{ef\text{-}volume} - E_{prod\text{-}PA}} \qquad \text{(Equação 3)}$$

4.5. Determinação do efeito mix de produção

O efeito mix de produção $\mathbf{EF_{mix}}$ é dado pela variação entre a energia estimada pela produção real $\mathbf{E_{prod\text{-}Real}}$ e pela energia calculada pelo efeito volume $\mathbf{E_{ef\text{-}volume}}$, o que pode ser visto pela Equação 4.

$$\mathbf{EF_{mix} = E_{prod\text{-}Real} - E_{ef\text{-}volume}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

4.6. Determinação do efeito consumo específico

Para a produção do produto 27, por exemplo, espera-se que o mesmo consuma 4,171kWh/kg, que é o seu consumo específico previsto $\mathbf{CE_{PA}}$. No entanto, devido à má performance do processo em determinado mês, o consumo real $\mathbf{CE_{Real}}$ foi de 4,819kWh/kg. Isso significa que

se terá um impacto no consumo total de energia para a fabricação deste cabo. A Equação 5 busca padronizar a determinação deste efeito.

$$\mathbf{EF_{consumo} = Prod_{Real} \times (CE_{Real} - CE_{PA})} \qquad \text{(Equação 5)}$$

Assim, o efeito consumo específico $\mathbf{EF_{consumo}}$ é uma tentativa de buscar determinar a variação da quantidade de energia consumida por se ter uma performance diferente da prevista.

4.7. Determinação do efeito sucata

A sucata do processo é uma das fontes de desperdício de energia. Isto porque para produzir 1.000kg de produto bom, precisa-se, por exemplo, de 1.100kg de matéria-prima entrando no processo, sendo processada, perdendo-se os 100kg e chegando ao final com os 1.000kg desejados inicialmente. Os 100kg de sucata gastam energia para serem processados.

O consumo de energia em função da sucata é dado pelo percentual previsto de sucata e pelo percentual real de sucata. Assim, é possível estimar quanto se consome em função da performance em sucata.

Dessa maneira, o efeito da sucata prevista no plano anual $\mathbf{EF_{suc\text{-}PA}}$ é dado pelo produto da produção do plano anual $\mathbf{Prod_{PA}}$ com a sucata prevista no plano $\mathbf{SUC_{PA}}$. A Equação 6 tem como objetivo melhor esclarecer este efeito. Enquanto isso, a sucata real $\mathbf{SUC_{Real}}$, que pode ser maior ou menor que a prevista, gera um efeito que pode ser observado pela Equação 6.

$$\mathbf{EF_{suc\text{-}PA} = Prod_{PA} \times SUC_{PA}} \qquad \text{(Equação 6)}$$

$$\mathbf{EF_{suc\text{-}Real} = Prod_{PA} \times (SUC_{Real} - SUC_{PA})} \qquad \text{(Equação 7)}$$

4.8. Determinação do impacto da Unidade de Produção de Fluidos (UPF)

A Unidade de Produção de Fluidos tem como função produzir os fluidos necessários na fabricação dos cabos e aros metálicos, como água refrigerada, água gelada, água resfriada, vapor, ar comprimido e outros.

Seu impacto é de 20% no consumo total de energia elétrica da fábrica, o que leva a diversos estudos e projetos pelo setor de manutenção com o objetivo de reduzir seus custos, os quais não serão abordados no presente trabalho.

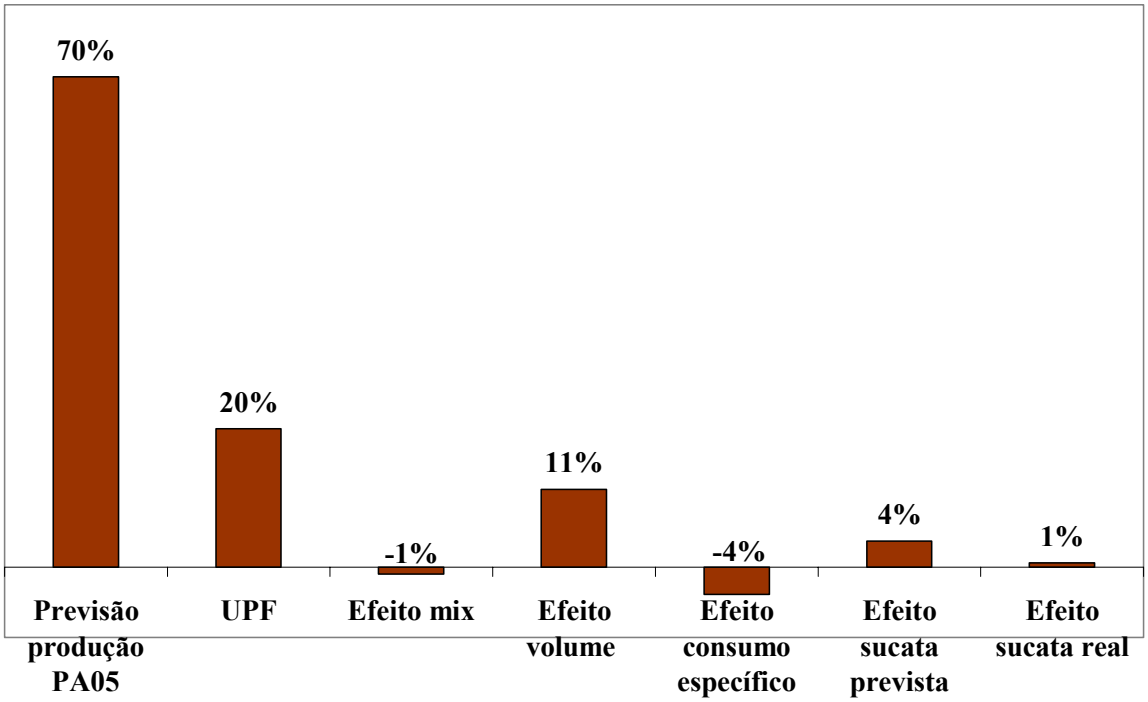
Entretanto, torna-se importante lembrar que alguns aspectos influenciam sua performance e seu consumo, como a temperatura ambiente e a umidade. Estas causam variação nas condições do ambiente fabril, fazendo com que o mesmo solicite "um esforço" maior ou menor por parte da UPF para manter as máquinas da fabricação em boas condições de funcionamento e não oferecer não conformidades ao produto. Alguns setores, por exemplo, tem monitoramento contínuo de umidade, e caso este parâmetro ultrapasse o limite de tolerância, pode inutilizar todo o produto fabricado.

4.9. Consolidação dos efeitos sobre o consumo de energia elétrica

Uma vez consolidados os efeitos considerados, estes podem ser representados pela Tabela 2 e pela Figura 2.

A Figura 2 visa mostrar o impacto percentual que cada efeito tem no consumo global de energia elétrica. É importante notar que efeitos como volume de produção, *mix* de produção, consumo específico e sucata real podem assumir valores negativos. Isso pode ser explicado, por exemplo, no caso do *mix* de produção, quando o conjunto de produtos que são produzidos em um determinado mês passa por um processo produtivo, cujas máquinas exigem menor quantidade de energia para o seu funcionamento. Assim, cabos que utilizam fios de maior diâmetro precisam ser "menos trefilados",sendo processados por um menor número de máquinas e, por conseqüência, absorvendo menor quantidade de energia do processo. Já no

caso do consumo específico negativo, este significa que o processo teve um rendimento melhor que o esperado e, com isso, se gastou menor quantidade de energia para um mesmo volume e *mix* de produção.



Fonte: Setor de Gestão Industrial – Michelin

Figura 2 – Impacto em % de cada efeito no consumo global de energia

Mensalmente estes efeitos são quantificados, buscando entender as causas da variação de consumo, como mostra a Tabela 2.

Efeito	jan/05	fev/05	mar/05	abr/05
Previsão produção PA05	1.237.800	790.769	1.316.544	1.256.847
UPF	321.876	283.429	349.745	344.090
Efeito mix	-27.175	23.722	-24.343	-36.602
Efeito volume	362.531	113.505	203.451	51.376
Efeito consumo específico	-297.146	44.664	48.387	-49.980
Efeito sucata prevista	65.501	42.211	69.906	66.650
Efeito sucata real	6.727	11.248	11.675	9.501
Total	**1.670.114**	**1.309.549**	**1.975.365**	**1.641.881**

Fonte: Setor de Gestão Industrial – Michelin

Tabela 2 – Efeitos no consumo de energia elétrica em kWh

4.10. Determinação do efeito preço unitário

Buscando acrescentar ao trabalho a abordagem econômica do problema de quantificação dos efeitos, pode-se ir além dos efeitos sobre o consumo e chegar até o efeito preço unitário, que visa explicitar o efeito que a variação de preço unitário entre os valores previstos no plano anual e o real oferecem. Este efeito é dado pela Equação 8.

O preço unitário pode ser avaliado em dois momentos:
- $\mathbf{P_{pa}}$: preço unitário previsto no plano anual
- $\mathbf{P_{Real}}$: preço unitário real praticado pela fornecedora de energia

$$\mathbf{EF_{preço} = Prod_{Real} \times CE_{Real} \times (P_{Real} - P_{pa})} \qquad \text{(Equação 8)}$$

4.11. Consolidação dos efeitos sobre os custos de energia

Visto que o preço unitário passou a ser mais um componente de análise, os efeitos anteriores podem ser valorizados pelo preço unitário previsto no plano anual Ppa de forma a permitir a quantificação destes efeitos em reais (R$). A Tabela 3 mostra os valores dos efeitos nos custos de energia da fábrica mensalmente.

Análise de efeitos (R$)	Jan	Fev	Mar	Abr
Custos previstos no Plano Anual	**R$ 251.320**	**R$ 173.564**	**R$ 277.712**	**R$ 266.539**
Efeito volume de produção	-R$ 252	R$ 5.536	-R$ 7.527	R$ 3.915
Efeito *mix* de produção	-R$ 971	-R$ 3.957	R$ 3.454	-R$ 3.544
Efeito consumo específico	-R$ 24.746	-R$ 43.264	R$ 6.503	R$ 7.045
Efeito preço unitário	-R$ 72.199	R$ 2.506	R$ 37.679	R$ 13.554
Variações provisões contábeis	-R$ 5.266	R$ 111.290	-R$ 89.472	R$ 13.658
Custos reais	**R$ 147.887**	**R$ 245.675**	**R$ 228.349**	**R$ 301.167**
Diferença	-R$ 103.434	R$ 72.111	-R$ 49.363	R$ 34.628

Fonte: Setor de Gestão Industrial – Michelin

Tabela 3 – Valorização dos efeitos em R$

As variações de provisões contábeis, que sofrem forte variação, oscilam entre valores positivos e negativos e são zerados no valor acumulado do ano. Assim, mensalmente podem causar uma significativa perturbação no acompanhamento dos custos, mas não no ano.

5. Conclusão e recomendações

Como resultado, o trabalho permitiu à empresa a compreensão do impacto dos principais fatores sobre o consumo de energia elétrica. Embora esta quantificação não seja tão simples, dado o número de equações que mostram a metodologia de análise, a consistência das informações possui boa confiabilidade para a compreensão das variações nem sempre tão claras.

Outro benefício apresentado pelo estudo é a identificação do consumo específico de energia elétrica por produto, o que possibilita a identificação dos produtos mais penalizantes em termos de consumo e a comparação da performance da usina brasileira com outras pertencentes ao grupo Michelin.

O acréscimo do fator preço unitário trouxe a oportunidade de levar a análise até o aspecto econômico. Embora o foco deste trabalho seja mais técnico que econômico, esta oportunidade não poderia ser desprezada, dada a relevância que a energia elétrica representa no orçamento da grande maioria das empresas.

O futuro deste trabalho é dar mais robustez às reprevisões de orçamento para cenários futuros, como o próximo plano anual a ser desenvolvido, o que proporcionará maiores probabilidades de acerto na estimativa da representativa conta energia elétrica, tornando-a mais sólida.

Cabe ressaltar que todos os cálculos foram desenvolvidos com o uso da ferramenta Microsoft Excel, largamente utilizada na atualidade, o que facilita a adaptação para outras empresas.

Portanto, viu-se na aplicação desta metodologia de análise das causas e dos impactos de variação no consumo específico de energia elétrica uma maneira eficaz de medir e reduzir os Custos de Energia Elétrica, tão significativos no que diz respeito à Função Manutenção.

Referências

ALMEIDA, M. G. D., (2001) - O custeio das atividades como auxílio no processo de melhoria contínua para a redução dos custos da manufatura. Tese de M.Sc.. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

SLACK, N.; CHAMBERS, S., HARLAND, C.; HARRISON, A. & JOHNSTON, R. (1999) – *Administração da*

Produção. Editora Atlas S.A. São Paulo.