

# ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SHOPPING CENTER COM FOCO EM ESCADAS ROLANTES

Yasmin Santos Fraga Mariano\*

Antônia Ferreira dos Santos Cruz\*\*

## Resumo

Este trabalho consiste na análise de eficiência energética de um shopping center, com foco nas escadas rolantes e na possível automatização das mesmas utilizando inversor de frequência. Inicialmente, é feito um estudo do funcionamento dos equipamentos envolvidos no projeto. Em seguida, é feita uma análise dos shoppings centers existentes na cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, para verificar qual, dentre eles, melhor se enquadra com o projeto. Na sequência, com o uso de um analisador de energia, são efetuadas medições das grandezas necessárias, por meio de amostragem, e são efetuados os cálculos de dimensionamento. Por fim, é feita uma conclusão, onde é analisado o custo-benefício da automatização proposta.

**Palavras-chaves:** Eficiência Energética; Escada Rolante; Shopping Center; Inversor de Frequência.

## Abstract

This work consists in analyzing the energy efficiency of a mall, focusing on escalators and their possible automatization using a frequency inverter. Initially, a study is made regarding the operation of the equipments involved in the project. After that, an analysis of the existing shopping centers in Salvador city, capital of Bahia state, is done, to see which one of them fits best in the project. In sequence, with the use of an energy analyzer, measurements are made by sampling the necessary magnitudes, and done the sizing calculations. Finally, a conclusion is made, where the cost-effectiveness of the proposed automation is analyzed.

**Keywords:** Energy Efficiency; Escalator; Mall; Frequency Inverter.

## 1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos atuais, sejam em residências, empresas ou iluminação das ruas e até as centrais que produzem e distribuem a energia, sendo ela elétrica, gás natural ou outra, consomem de alguma forma uma fonte de energia. Edifícios, processos industriais e transportes energeticamente eficientes poderiam reduzir as necessidades energéticas do mundo em um terço até 2050, de acordo com a Agência Internacional de Energia (OECD/IEA, 2013) A Eficiência Energética é uma atividade que procura aperfeiçoar o uso das fontes de energia, reduzindo o consumo das mesmas, pelas diversas cargas, o que traz economia.

Como grandes consumidores de energia elétrica, os shoppings centers permitem elaboração efetiva de projetos de eficiência energética, na busca de otimização do uso da mesma. Tendo em vista as possibilidades de racionamento e lucro, esse setor do mercado se

---

\*Graduanda de Engenharia Elétrica da Universidade Salvador – UNIFACS. yasmin.mariano@hotmail.com.

\*\* Prof<sup>ª</sup>. Orientadora. Mestra em Regulação da Indústria de Energia e Professora Titular pela Universidade Salvador – UNIFACS. antonia.cruz@pro.unifacs.br.

movimenta a fim de minimizar prejuízos e tomar medidas preventivas para reduzir o consumo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

### **2.1. Eficiência Energética e Conservação de Energia**

Na interpretação científica, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica o termo conservação de energia, refere-se ao princípio que estabelece que a energia total do universo é constante, para qualquer sistema fechado: desse modo, a energia não pode ser criada ou destruída, somente transformada. Na terminologia técnica da área de engenharia, de acordo com a Eletrobras, o termo conservação de energia refere-se a um conceito socioeconômico que visa reduzir o desperdício e o uso ineficiente da energia elétrica.

Eficiência energética, de acordo com a Cosern (Grupo Neoenergia), é uma atividade que procura obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia elétrica. A atuação da eficiência energética abrange a otimização do uso dos recursos energéticos, desde as fontes primárias até o seu aproveitamento, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a redução dos impactos ambientais.

Como ação para a eficiência energética, pode-se partir de uma das duas vertentes abaixo:

- Vertente humana: voltada para a educação do cidadão sobre o consumo consciente, induzindo-o a mudança de hábitos e atitudes, para incentivar uma futura mudança de comportamento.
- Vertente tecnológica: voltada para a modernização de equipamentos e processos, reduzindo significativamente o consumo de energia de uma instalação, sem comprometer o produto final.

### **2.2. Inversor de Frequência**

Um inversor de frequência é um dispositivo capaz de gerar tensões e frequências trifásicas ajustáveis, com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico. Esse aparelho é ligado na rede elétrica, que pode ser monofásica ou trifásica, e tem em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência diferente daquela da rede. Para tanto, o inversor possui dois estágios: um retificador e um inversor:

Bloco Retificador: Transforma a tensão alternada em contínua. Possui seis diodos retificadores, situados no circuito de entrada do inversor, que retificam a tensão trifásica da rede de entrada. A tensão DC resultante é filtrada pelo capacitor e utilizada como entrada para o bloco inversor.

Bloco Inversor: Nessa seção a tensão retificada DC é novamente convertida em trifásica AC, escolhida de modo que a relação tensão/frequência (V/F) seja constante, com a frequência desejada pela carga. Esta tensão contínua é conectada ciclicamente aos terminais de saída pelos dispositivos semicondutores do inversor, transistores ou tiristores, que chaveiam várias vezes por ciclo, gerando um trem de pulsos com largura variável senoidalmente (PWM).

A saída de tensão pulsada, aplicada a um motor, irá gerar uma forma de onda de corrente bem próxima à senoidal, através do enrolamento do motor. Dessa forma pode-se controlar a corrente, e logo a potência, do motor de uma escada rolante, para a implementação do estudo proposto.

### **2.3. Escadas Rolantes**

Escada rolante é um meio de transporte que consiste em uma escada inclinada, cujos degraus movem-se para cima ou para baixo, e é usada para transportar confortável e rapidamente um grande número de pessoas, entre andares de um dado edifício, especialmente em shopping centers.

Nesse equipamento, um único motor elétrico faz girar as engrenagens, movimentando todo o conjunto da escada rolante. A primeira engrenagem, na parte superior, é acionada diretamente pelo motor, já a segunda engrenagem, na parte inferior, apenas acompanha a primeira e ajuda a movimentar toda a escada. A corrente mecânica de acionamento é impulsionada pelo giro das engrenagens, fazendo os degraus se moverem a uma velocidade constante. O funcionamento da escada rolante é representado na figura 1.

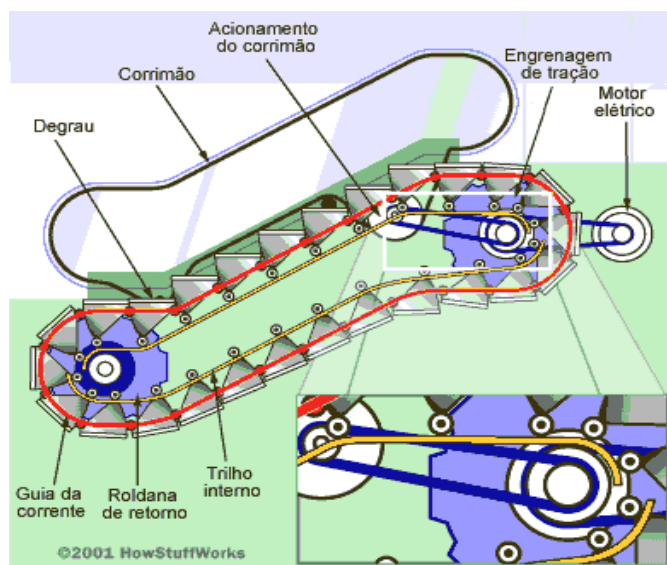


Figura 1 – Funcionamento de escadas rolantes

Os degraus são cortados de forma a ficarem sempre na mesma posição enquanto em movimento. Cada degrau tem dois pares de polias: um fica preso na corrente de acionamento e outro percorre o trilho guia, que serve para equilibrar os degraus e mantê-los sempre na posição correta. O corrimão, feito de borracha, serve como apoio aos passageiros e também é acionado pelo motor elétrico, movendo-se na mesma velocidade dos degraus, auxiliando na estabilidade dos passageiros. A estrutura metálica que sustenta a escada, chamada de treliça, é normalmente fechada nas laterais, escondendo os mecanismos.

O uso de escadas rolantes traz vários benefícios, em comparação, por exemplo, com elevadores: elas têm a capacidade de movimentar um grande número de pessoas, pode ser instalada no mesmo espaço físico em que se instala uma escada convencional, praticamente não possui intervalo de espera para os usuários, podem ser usados para guiar as pessoas em uma direção e, quando quebradas, podem funcionar como uma escada normal, ao passo que muitos outros meios de transporte tornam-se inúteis na mesma situação.

### 3. O PROJETO

#### 3.1. Metodologia Aplicada

A primeira etapa para a elaboração do projeto foi visita a diferentes shoppings de Salvador para análise da estrutura, do porte comercial e das escadas rolantes, de forma a decidir qual se adequa melhor ao projeto. Após a análise dos estabelecimentos disponíveis, foi escolhido um de grande porte, localizado no bairro da Barra, em Salvador, estado da Bahia.

Para a realização do projeto, algumas opções para reduzir o consumo das escadas rolantes em um estabelecimento foram estudadas. Escolheu-se para implementação a opção de adequar a potência do motor à carga transportada no momento.

Os motores CA, como os utilizados nas escadas rolantes, funcionam sempre a máxima potência e quase nunca estão transportando a carga máxima suportada. Como solução, um inversor de frequência pode ser utilizado com controlador/atuador, fazendo o ajuste adequado.

Serão analisadas duas formas de implementar essa inovação:

- A instalação de um inversor de frequência à escada-rolante já existente no estabelecimento;
- A instalação de uma nova escada-rolante, que já tenha esse recurso de fábrica, opção útil para um estabelecimento que já projeta adquirir um equipamento novo.

Os resultados encontrados nesse estudo serão comparados aos do estudo “Hotel/Casino Escalator Motor Controller - Energy Cost Reduction Results” da empresa Precision Power Labs, feito em 2006, para fins de referência.

### **3.2. O Shopping**

O Shopping Barra foi fundado em 16 de novembro de 1987, sendo o único estabelecimento desse tipo de grande porte no bairro da Barra, área residencial de alto poder de consumo e também importante zona turística no Estado da Bahia. Atualmente, o shopping tem uma circulação média de 12 mil veículos por dia e de, aproximadamente, 50 mil pessoas, de acordo com informação disponibilizada no site da empresa.

Com a expansão concluída no último ano, o Shopping Barra passou a ter aproximadamente 50 mil metros quadrados de Área Bruta Locável (ABL), distribuídos em cerca de 150 mil metros quadrados de área construída no total. O projeto de ampliação incluiu também a renovação dos espaços já existentes no atual shopping, como 150 novas câmeras de segurança, modernização dos sanitários e a substituição de 12 escadas rolantes.

Com 280 lojas, dos mais variados segmentos como bancos, farmácias, restaurantes, entre outros, incluindo uma unidade do Sistema de Atendimento ao Cidadão (SAC) e um complexo de cinemas de 4 mil m<sup>2</sup>. O shopping funciona de segunda a sábado, das 9 às 22 horas, e aos domingos das 13 às 21 horas, com horários diferenciados para a parte de alimentação.

### 3.3. Medições

Com a utilização do analisador de energia RE 2000 da Embrasul, foram coletados dados amostrais das grandezas elétricas, corrente, tensão, potências (ativa e reativa) e fator de potência, utilizados pela escada rolante que liga os pisos L1 e L2 do shopping, localizada próxima à entrada principal e em frente ao Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC). Em 12 de maio de 2014 o analisador foi conectado ao quadro de força das escadas rolantes do shopping, localizado dentro de uma das subestações do mesmo, com o acompanhamento do técnico responsável pela parte de manutenção elétrica. Medições contínuas das grandezas citadas foram registradas por uma semana, com dados armazenados de 15 em 15 minutos. Em 19 de maio de 2014 o medidor foi removido da subestação para que os dados coletados fossem analisados através do software do equipamento.

O analisador foi instalado ao lado de entrada e não ao lado da carga (motor), de acordo com a figura 2. Usando esta configuração, o equipamento registrou os mesmos parâmetros que estão disponíveis para o medidor de kWh de onde a concessionária de energia (Coelba) acessa os dados do cliente para a cobrança. Caso o analisador fosse conectado do lado da carga, os dados obtidos não iriam ser necessariamente um indicativo do consumo de eletricidade do estabelecimento.



Figura 2 – Analisador de energia instalado

Com os dados coletados, foi utilizado o programa Anawin, da EMBRASUL, para visualizar os valores e gráficos para análise necessária ao projeto. Como os dados seguem um

padrão durante a semana, de acordo a figura 3, serão analisados apenas os dados da quarta-feira (14/05/2014), para melhor entendimento.

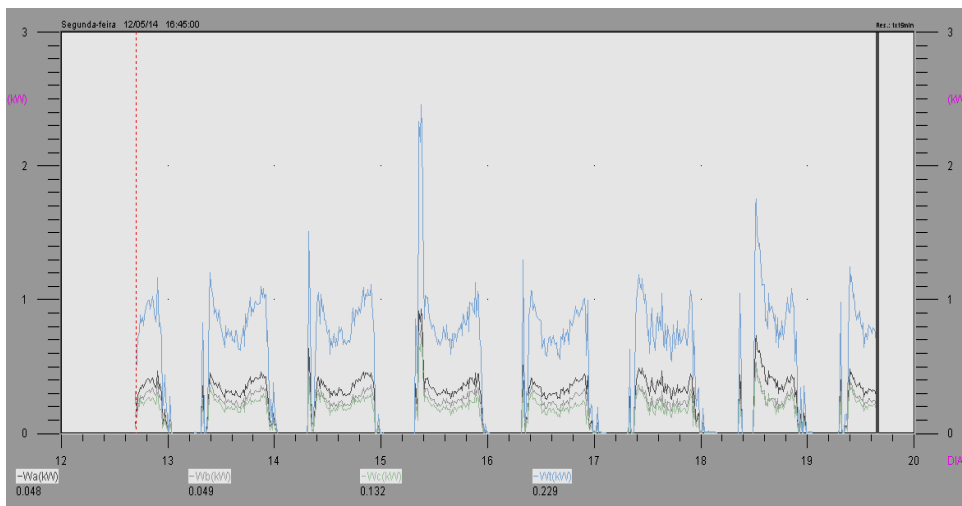


Figura 3 – Gráfico semanal da potência (kW)

Abaixo seguem as conclusões feitas, através dos valores encontrados na semana de análise:

**Potência Ativa:** Medida em Watts (W), a potência ativa, também chamada de potência real, representa a energia convertida para trabalho. No caso de um motor, ela representa a potência convertida em calor e torque. A cobrança de energia elétrica é geralmente baseada em uma taxa fixa por kWh de energia consumida. Embora outros fatores, tais como picos de carga e baixo fator de potência muitas vezes afetem as despesas de energia elétrica, o uso do kWh é o ponto de referência mais relevante para determinar os custos, pois é uma medida direta do consumo de energia.

A potência ativa coletada com o analisador de energia tem um valor médio, para um dia (24 horas), de aproximadamente 0,5 kW, o que equivale a um gasto de aproximadamente 12,4 kWh, de acordo com a equação 1.

$$C = kW \cdot h$$

(1)

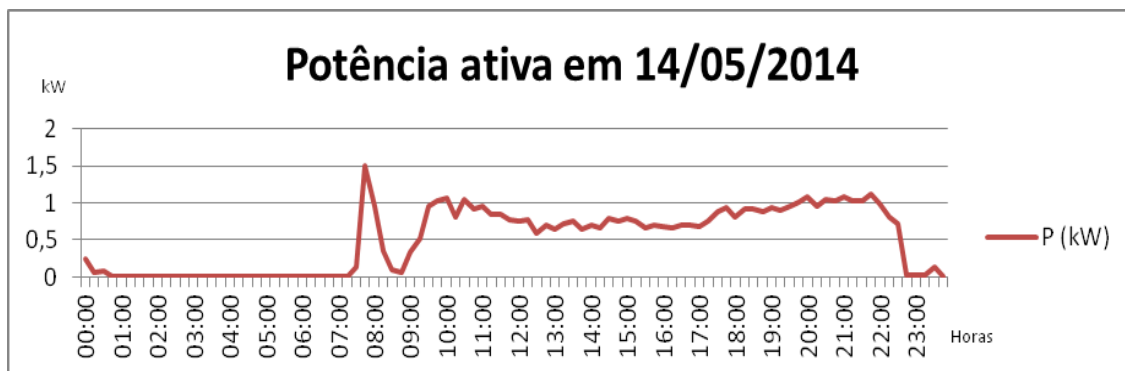


Figura 4 – Gráfico da potência ativa em 14/05/2014

Analisando a figura 4, percebe-se que há períodos onde a potência é igual à zero, já que os equipamentos ficam desligados enquanto o shopping está fechado. Observando somente o horário no qual a escada está em funcionamento, representado na figura 5, das 9h às 22h30min, encontra-se uma potência ativa média de aproximadamente 0,8 kW, o que equivale a um gasto de aproximadamente 11,2 kWh. Durante o horário de ponta, das 18 às 21 horas, a potência ativa média do equipamento é de aproximadamente 0,96 kW, o que equivale a um consumo energético de e 2,9 kWh.

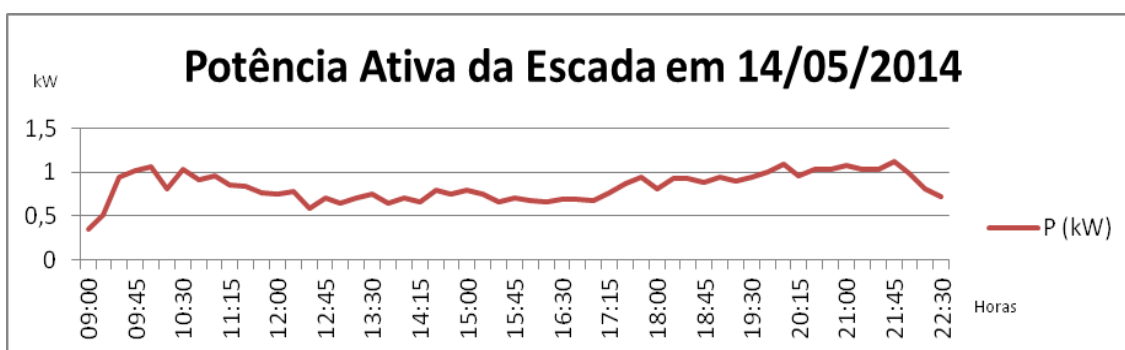


Figura 5 – Gráfico da potência ativa da escada em 14/05/2014

A escada rolante analisada, com 0,8 kW de potência, rodando 85 horas por semana, considerando que opere normalmente pelas 52 semanas do ano, a mesma funciona durante 4.420 horas por ano. Assim, o consumo anual de energia da escada rolante será 3.536 kWh, de acordo com a equação 1.

Ainda com o gráfico da figura 5, nota-se que durante o período entre 12h às 14h a potência diminui ainda mais. Essa queda é justificada, pois esse é o horário de almoço da maioria das empresas, incluindo as do próprio shopping, o que causa ao público se concentrar no primeiro piso, onde está localizada a grande maioria dos restaurantes do shopping. Logo, durante essas 2 horas a escada rolante em estudo é menos utilizada, refletindo na queda da



potência ativa, que nesse período é, em média, aproximadamente 0,7 kW, uma queda de 12,5% em relação à média do dia.

O estudo “Hotel/Casino Escalator Motor Controller - Energy Cost Reduction Results” encontrou uma potência ativa média de aproximadamente 2 kW, na escada analisada. Levando em consideração que entre estudo da Precision Power Labs e o projeto do Shopping Barra 8 anos se passaram, a diminuição da potência ativa reflete o avanço da tecnologia desse tipo de equipamento, já em busca de um gasto menor de energia.

Potência Aparente: Medida em Volt-Ampère (VA), a potência aparente é obtida pela soma vetorial das potências ativa e reativa. Essa potência pode ser interpretada como a quantidade de energia que deve ser entregue a um equipamento para que o mesmo tenha uma quantidade de energia “real” (W) para realizar uma determinada tarefa. Essa potência é um parâmetro importante, pois é a quantidade de energia que realmente deve ser fornecida para que o equipamento cumpra sua função, e é também com base nela que são dimensionados os sistemas de proteção.

A potência aparente coletada com o analisador de energia tem um valor médio, para um dia (24 horas), de aproximadamente 2,8 kVA. A figura 6 ilustra o comportamento dessa grandeza no dia 14/05/2014.

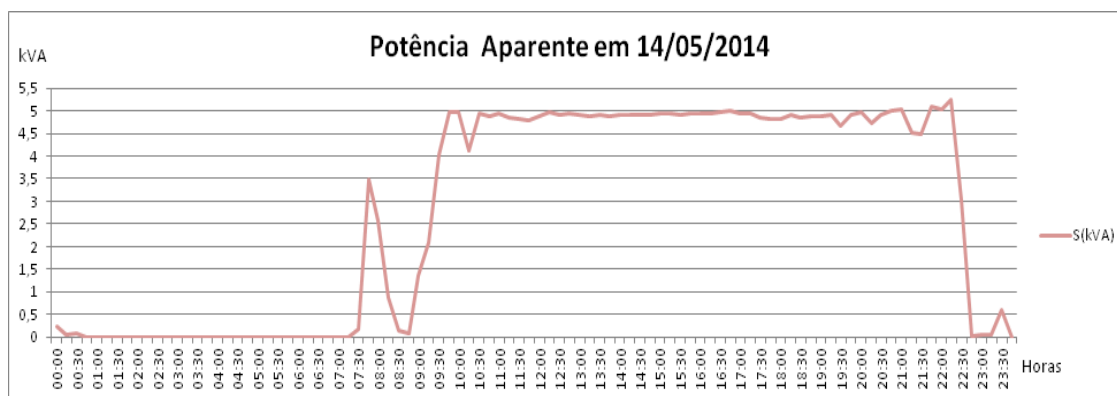


Figura 6 – Gráfico da potência aparente em 14/05/2014

Seguindo a mesma linha de análise da potência ativa, observando somente o horário no qual a escada está em funcionamento, encontra-se uma potência aparente média de aproximadamente 4,7 kVA, de acordo com a figura 7.

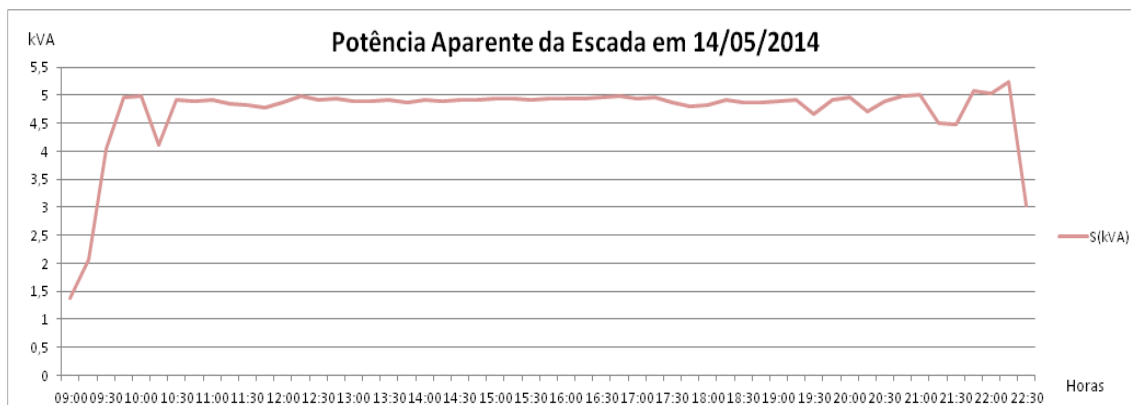


Figura 7 – Gráfico da potência aparente da escada em 14/05/2014

No estudo “Hotel/Casino Escalator Motor Controller - Energy Cost Reduction Results” foi encontrada uma potência aparente média de aproximadamente 10,1 kVA. Novamente a diminuição dessa potência reflete o avanço da tecnologia do tipo de equipamento.

Potência Reativa: Medida em Volt-Ampère-reactivo (Var), a potência reativa representa a energia que é usada por alguns tipos de carga para produzir campos magnéticos. Essa potência não produz torque diretamente, mas representa a discrepância entre a potência real (ativa) e a requerida pelo equipamento para efetuar sua função (aparente). Esse parâmetro é referente então à energia que não é utilizada para a realização de trabalho, em outras palavras desperdiçada, pelo equipamento. Sendo assim, a redução da potência reativa é sempre desejável.

A potência reativa, durante o período de funcionamento da escada rolante analisada, para o mesmo dia, tem um valor médio de aproximadamente 4,65 kVAr. Somente pelos valores médios das potências aparente e reativa, já pode ser visualizada a ineficiência do equipamento, porém esse assunto será abordado mais a frente com o fator de potência.

O estudo da Precision Power Labs encontrou uma potência reativa média de aproximadamente 9,88 kVAr. Novamente a diminuição dessa potência reflete o avanço da tecnologia do tipo de equipamento, porém percebe-se que o valor desse parâmetro também foi próximo ao da potência aparente do mesmo equipamento. Essa proximidade de valores será refletida no fator de potência.

Corrente: Medida em Ampères (A), a corrente elétrica pode ser definida como um fluxo de elétrons, que circula por um condutor, quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial (tensão). Motores elétricos, como os que são encontrados em escadas rolantes, ao serem ligados, instantaneamente, permitem que um grande fluxo de corrente

elétrica circule através dos seus enrolamentos, o que é chamado de corrente de partida do motor. Esse parâmetro é tipicamente igual a 7 ou 8 vezes a corrente nominal do motor.

A corrente do equipamento se mantém estável entre 9 a 11 ampères durante o período de funcionamento do mesmo. De acordo com a figura 8, verifica-se que o pico de corrente que caracteriza a corrente de partida do motor não é observado, em função destas medições serem de regime permanente, porém a instalação de um inversor de frequência reduzirá a corrente, fato decorrente mediante a redução do consumo de energia, o que prolongará a vida útil do motor.

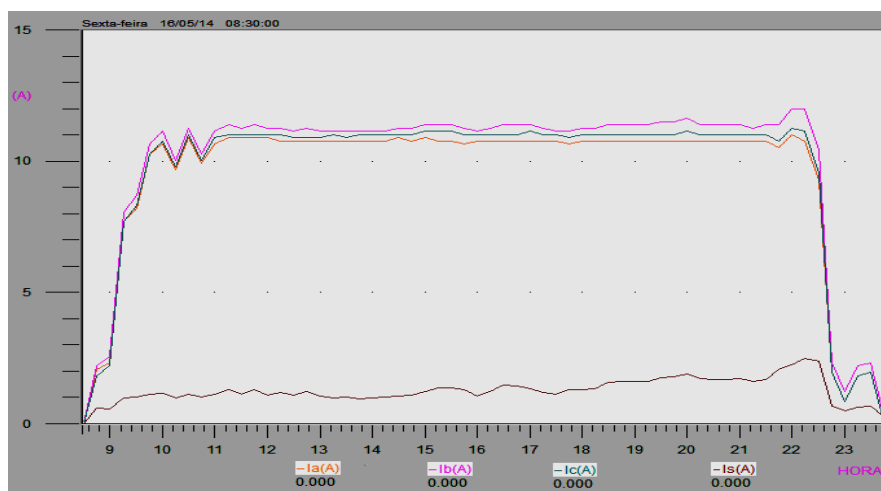


Figura 9 – Gráfico da corrente para um dia (24 horas)

Fator de Potência: Por definição, o fator de potência é um número adimensional entre zero e 1, definido pela razão entre a potência ativa e a aparente. Caso o fator de potência for igual à zero, o fluxo de energia é inteiramente reativo (a energia armazenada é devolvida totalmente à fonte em cada ciclo), sendo igual a 1, toda a energia fornecida pela fonte é consumida pela carga (cenário ideal). Sendo assim, quanto maior for o fator de potência, mais eficiente é o equipamento ou sistema.

O fator de potência coletado com o analisador de energia tem um valor médio, para um dia (24 horas), de aproximadamente 0,47. Durante o horário de funcionamento da escada esse valor cai para aproximadamente 0,18, como é ilustrado no gráfico da figura 9.

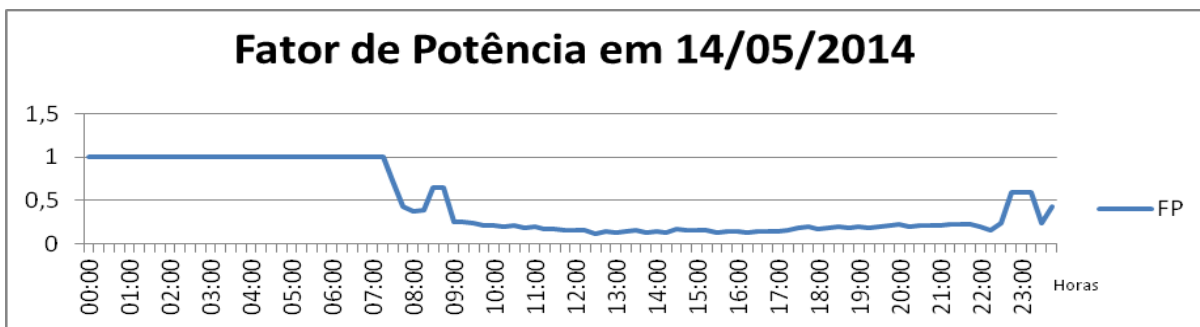


Figura 9 – Gráfico do fator de potência em 14/05/2014

O motivo para esse valor ser tão baixo é que as escadas rolantes com degraus de 1 metro de largura, como a analisada, são especificadas, de forma padrão, para transportar 9000 pessoas por hora, de acordo com dados obtidos do Catálogo de Escadas e Esteiras Rolantes da Elevadores Atlas Schindler, versão de 2008, a mais recente. Em um estabelecimento como o Shopping Barra, há uma circulação média de, aproximadamente, 50 mil pessoas por dia, que se distribuem pelas 30 escadas rolantes e 6 elevadores disponíveis para transporte interno. Dessa forma, a escada transporta bem menos pessoas em comparação a sua especificação. Isso torna o sistema ineficiente, pois o motor da escada trabalha para uma carga que dificilmente chegará ao valor de potência nominal do motor, reduzindo a eficiência do motor em função da operação em subcarga.

O estudo “Hotel/Casino Escalator Motor Controller - Energy Cost Reduction Results” encontrou um valor médio para o fator de potência de aproximadamente 0,2. Em quase 10 anos de diferença entre os estudos, percebe-se que a tecnologia das escadas-rolantes avançou apenas em consideração ao gasto kWh, e não a eficiência do equipamento. O equipamento analisado no Shopping Barra pode ser considerado mais eficaz que o analisado em 2006, porém não mais eficiente.

Durante as duas horas de almoço, onde o fluxo de pessoas na escada diminui, abaixando também as potências, como já foi comentado, o fator de potência também sofre uma redução. Para uma queda de 12,5% na potência ativa, o fator de potência sofre uma queda de aproximadamente 22%, caindo para 0,14.

### 3.4. Dimensionamento do projeto

Com as medições, coletadas com a utilização do analisador de energia, em mãos, e realizados os estudos das potências ativa, reativa e aparente, foi determinado o modelo de inversor de frequência que se adequa ao projeto. O modelo AS330-4T07P5, da STEP Electric

Corporation, supre todas as necessidades da escada rolante analisada. Esse modelo, utilizado em vários países, é uma combinação de controlador com atuador, e foi idealizado especialmente para escadas rolantes. Ele oferece às escadas rolantes um controle de frequência variável e dois status, para maior controle: estado de operação estável e modo *stand by* para a mudança de velocidade. O preço desse modelo varia desde R\$ 20.000 a R\$ 30.000, dependendo de complementos, serviços adquiridos, entre outros opcionais. Será trabalhado com o valor médio, R\$ 25.000, para efeitos de cálculo.

Os manuais dos inversores de frequência para essa utilização prometem uma redução no consumo de energia de até 30%. No estudo de caso realizado em 2006 pela Precision Power Labs, foi verificada uma redução da potência ativa de 29,5%, o que confirma a informação divulgada pelos fabricantes desse tipo de equipamento. Foi assumida, portanto, uma redução de 30% no consumo com a instalação do inversor.

Outra alternativa seria adquirir uma escada com esse sistema de economia de fábrica, já disponibilizado por algumas empresas, em vez da escada comum. O preço da escada comum da Atlas Schindler (S9300AE) fica na média de US\$ 150.000, ou R\$ 334.500, tomando como base a cotação do dólar comercial em 18/06/2014, de R\$ 2,23. A escada com o sistema ECO da Atlas Schindler é aproximadamente 1,7% mais cara que a comum: esse modelo ao detectar baixo fluxo de passageiros adapta a potência da escada rolante ao fluxo, o que permite, também, até 30% de redução no consumo de energia. A escada com o sistema ECO sairia em torno de R\$ 340.190, uma diferença de preço de R\$ 5.690, arredondando o valor para cima.

Para ambas as alternativas, a redução no consumo é de 30%, o que reduziria a potência média do equipamento para aproximadamente 0,56 kW. Operando normalmente 85 horas por semana, pelas 52 semanas do ano, a mesma funciona durante 4.420 horas por ano, resultando em um consumo anual de 2.475 kWh, para o novo sistema, uma redução de 1.061 kWh, ou 1,06 MWh. Durante o horário de ponta a potência cairia para, aproximadamente, 0,67 kW, uma redução de 0,3 kW.

### **3.5. Relação Custo-benefício**

A avaliação financeira dos gastos e ganhos obtidos com o projeto de eficiência energética é um ponto crucial e o cálculo da Relação Custo Benefício (RCB) será a primeira opção de avaliação de retorno financeiro. Segundo a regulamentação da ANEEL, projetos de

eficiência energética devem possuir uma relação custo benefício de, no máximo, 0,8. Para a realização dos cálculos, algumas premissas serão adotadas:

- Será utilizada a tarifa homologada pela Resolução Homologatória N° 1.714 (ANEEL, 2014), de 15 de abril de 2014;
- Serão incluídos no cálculo apenas custos referentes à instalação e aquisição referentes à implementação do projeto. Custos futuros de manutenção não são considerados, já que as principais manutenções necessárias ao sistema são as mesmas que as realizadas em aparelhos já instalados;
- Os custos dos equipamentos antigos não são considerados;
- Não será considerada a ocorrência de ultrapassagem de demanda contratada;

Inicialmente, conforme descrito e equacionado no PROPEE (ANEEL, 2012), devem ser calculados o Custo Evitado de Demanda (CED) e o Custo Evitado de Energia (CEE), utilizando as equações 2 e 3, respectivamente.

$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP) \quad (2)$$

Onde,

- 12: Número de meses no ano;
- C1: Custo unitário da demanda no horário de ponta;
- C2: Custo unitário da demanda no horário fora de ponta;
- LP: Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

$$CEE = \frac{(C_3 \times LE_1) + (C_4 \times LE_2) + (C_5 \times LE_3) + (C_6 \times LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad (3)$$

Onde,

- C3: Custo unitário da energia no horário de ponta de períodos secos;

- C4: Custo unitário da energia no horário de ponta de períodos úmidos;
- C5: Custo unitário da energia no horário fora de ponta de períodos secos;
- C6: Custo unitário da energia no horário fora de ponta de períodos úmidos;
- LE1: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta;
- LE2: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta;
- LE3: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta;
- LE4: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta.

Os custos C1 a C6 são obtidos na Resolução Homologatória N° 1.714 (ANEEL, 2014), para o grupo tarifário horo-sazonal azul, subgrupo A4 - Comercial, conforme orientado pela ANEEL (2012):

Tabela 1 – Coeficientes para as equações 2 e 3

	<b>Distribuidora</b>	<b>Consumidor</b>
<b>C1 (R\$/kW)</b>	42,26	66,62
<b>C2 (R\$/kW)</b>	14,62	23,05
<b>C3/C4 (R\$/MWh)</b>	255,24	402,40
<b>C5/C6 (R\$/MWh)</b>	161,13	254,03

Os valores das constantes LP e LE1 a LE4 são definidos conforme o valor de k, constante associada ao cálculo do fator de perdas e geralmente considerada  $k= 0,15$ . Os valores das constantes, recomendado pela ABRADÉE (APUD, 1996 e ANEEL, 2012), são obtidos na tabela de coeficientes, a depender do fator de carga médio da distribuidora.

Fator de Carga	LP#	LE#	LE1#	LE2#	LE3#	LE4#
0,70	0,5476	4,56834	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977
0,75	0,5929	5,17388	0,40136	0,28095	2,63258	1,85899
0,80	0,6400	5,81664	0,41810	0,29267	2,99264	2,11324

Figura 10 – Coeficientes das equações para  $k=0,15$

O fator de carga da COELBA para os últimos 12 meses em relação a abril de 2014 foi 0,75, conforme informação obtida a partir de consulta à profissionais que trabalham na referida distribuidora de energia. Calcula-se então a partir das equações 2 e 3:

Tabela 2 – Valores de CED e CEE para a escada analisada

	Distribuidora	Consumidor
<b>CED (R\$/kWh)</b>	611,14	963,44
<b>CEE (R\$/MWh)</b>	173,54	273,60

Os benefícios são calculados multiplicando a economia de energia e a redução de demanda na ponta em um ano pelo CEE e CED, respectivamente. Com uma economia de energia de 1,06 MWh/ano e uma redução da demanda no horário de ponta de 0,3 kW, para o estudo de caso, o benefício anualizado, por equipamento, é de R\$ 579,04 do ponto de vista do cliente. Supondo que o sistema seja instalado nas 30 escadas rolantes existentes no Shopping Barra, a implementação proposta seria equivalente a uma economia anual de R\$ 17.371,20, pela ótica do cliente.

Os custos do projeto serão os custos de equipamentos e os custos de serviços necessários a sua implementação. Para a realização do cálculo, os custos dos serviços devem ser distribuídos nos custos dos equipamentos, ponderando pelo percentual do custo de cada equipamento do projeto sobre o valor total atribuído a equipamentos. Como, nesse estudo de caso, há apenas um equipamento em cada alternativa proposta, não será necessário esse procedimento.

Após a definição do valor final do projeto, é necessário realizar o cálculo do custo referente a um ano, utilizando o fator de recuperação de capital (FRC), técnica de economia que divide o custo inicial em um período de tempo definido, aplicando-se a ele uma taxa de desconto  $i$ , de 8% ao ano, de acordo com o Guia de M&V (ANEEL, 2013).



$$FRC = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (4)$$

Na qual,

- FRC = Fator de Recuperação de Capital;
- $i$  = Taxa de desconto (8% ao ano);
- $n$  = Vida útil de cada equipamento do projeto.

Considerando a vida útil do sistema sendo 25 anos, já que o estabelecimento em análise possui equipamentos com essa idade que operam normalmente, o FRC calculado a partir da equação 4 é 0,09368.

Obtém-se então o custo anualizado do projeto, definido como:

$$C_{ANUALIZADO} = FRC \cdot C_{TOTAL} \quad (5)$$

Para a instalação do inversor de frequência na escada já existente, o custo anualizado do projeto é R\$ 2.342,00. Calculando a relação custo benefício, obtém-se o RCB= 4,0, logo, os custos superam em cerca de 70% o benefício, o que revela que o sistema não é lucrativo.

Para a opção de instalar a escada com sistema ECO no lugar da convencional, o custo anualizado é de R\$ 533,04, o que resulta em RCB= 1,0. Essa não atende os requerimentos para um projeto de eficiência energética, de acordo com a ANEEL, porém em 10 anos o custo inicial seria amortizado, e a partir desse prazo a empresa começaria a obter lucro. Essa opção é mais interessante do que a instalação do inversor de frequência na escada já existente, pois é mais rentável.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com esse trabalho, pode-se compreender o funcionamento das escadas rolantes, bem como seu impacto no orçamento das empresas onde as mesmas são utilizadas. Buscou-se verificar a viabilização da automatização desse processo, com o uso de inversores de frequência e, com isso, a redução do consumo de energia elétrica.

Ao longo do estudo de caso, constatou-se que o sistema é de fato ineficiente, desperdiçando uma parcela expressiva da energia utilizada, fato verificado pelo baixo fator de potência. Com as comparações feitas com o estudo realizado pela Precision Power Labs em 2006, pôde-se visualizar que, apesar dos modelos de escadas rolantes terem sido atualizados em relação à potência ativa e o gasto kWh, o fator de potência permaneceu o mesmo, o que prova que esses equipamentos se tornaram mais eficazes, porém não mais eficientes.

Comparando o gasto de energia do equipamento com o custo do projeto, foi verificado que a instalação de um inversor de frequência não seria rentável. Os custos superam em mais de 70% o benefício, o que é não é lucrativo. Também foi analisada a possibilidade de ser instalada uma escada com sistema ECO, que conseguiria resultados similares à instalação do inversor, no lugar da convencional, alternativa que se revelou mais lucrativa do que a primeira proposta. Nessa segunda alternativa o custo inicial seria amortizado em 10 anos, e a partir desse prazo a empresa começaria a obter lucro.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Geralmente para os shoppings centers, os projetos dos sistemas elétricos, como iluminação, climatização e transporte interno obedecem a outros critérios que não o da eficiência energética. Para esse setor comercial, a principal preocupação dos projetistas é o conforto e a atratividade dos consumidores, o que abre uma grande oportunidade para estudos de eficiência energética.

O estudo de eficiência energética deve levar em consideração todas as formas possíveis de economia, analisando cada aparelho instalado, tendo em vista a potência que o mesmo necessita e a possibilidade de melhoria. As escadas rolantes normalmente não recebem o foco de modernização dos estabelecimentos onde a mesma se encontra, devido à sua aparência comum e longa vida útil.

Este trabalho buscou compreender melhor o funcionamento dos inversores de frequência e das escadas rolantes, bem como as possíveis formas de tornar as mesmas mais eficientes. Com o resultado das medições, foi verificado que esse tipo de equipamento é de fato ineficiente, sendo sobredimensionado na maioria do tempo de utilização, e desperdiçando uma parcela expressiva da energia utilizada.

Com os custos dos equipamentos envolvidos no projeto e os benefícios calculados, foram feitos os devidos cálculos de custo benefício, para averiguar se a implementação

proposta atinge seu objetivo. Verificou-se que tal proposta não seria lucrativa para o estabelecimento, mas que instalar uma escada que já venha de fábrica com um sistema similar teria o custo inicial amortizado em 10 anos.

A empresa Ecoluz, especializada em projetos de eficiência energética, disponibiliza em seu site um estudo sobre os gastos de um shopping center. Apesar desse tipo de estabelecimento comercial ter na conta de energia uma de suas principais despesas, os maiores responsáveis por este consumo são os sistemas de ar condicionado (54%) e a iluminação (24%). As escadas rolantes e elevadores ficam em 3º lugar, porém contribuem apenas para 6% dos gastos com energia elétrica, como pode ser visualizado na figura 11.

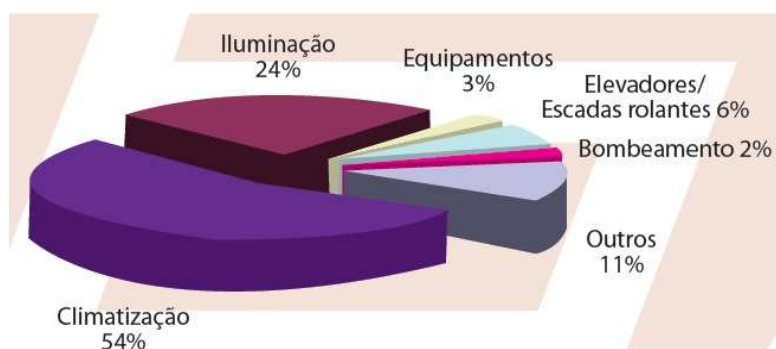


Figura 11 – Gráfico das Contribuições de Carga de um Shopping Center

Considerando o montante do investimento inicial, e a contribuição das escadas rolantes para a conta de energia da empresa, outras aplicações apresentam uma maior atratividade para a implementação de um projeto de eficiência energética.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. 10 Módulos. Brasília – DF, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Guia de M&V**. Brasília – DF, 2013. 30 p.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA. **Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=6>>. Acesso em: 19 de set. de 2013.

BARROSO, P. **Shopping Centers Atentos a Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/60035955>>. Acesso em: 31 de ago. de 2013.

CELESC. **Fator de Potência e Fator de Carga.** Disponível em:

<[http://portal.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com\\_content&task=view&id=128&Itemid=220](http://portal.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=220)>. Acesso em: 06 de jun. de 2014.

COSERN. **O Que É Eficiência Energética?** Disponível em:

<<http://www.cosern.com.br/Sustentabilidade/Pages/gestao-ambiental.aspx>>. Acesso em: 19 de abril de 2014.

ECOLUZ S/A. **Segmentos: Shopping Center.** Disponível em:

<<http://www.ecoluz.com.br/pag/lamina-sopping.pdf>>. Acesso em: 6 de jun. de 2014.

EHS TECH LTD. **Motor Controller.** Disponível em: <<http://www.igv-eficiencia.com/downloads/files/Motor%20controller-exp.pdf>>.

Acesso em: 10 de jun. de 2014.

ELEVADORES ATLAS SCHINDLER. **Manual de Transporte Vertical em Edifícios Elevadores de Passageiros, Escadas Rolantes, Obra Civil e Cálculo de Tráfego.** São Paulo, 2008. 16 p.

ELEVADORES ATLAS SCHINDLER. **S9300®AE e S9500®AE Escadas e Esteiras Rolantes: Versatilidade e design em perfeita harmonia com os projetos mais exigentes.**

São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://www.schindler.com/content/br/internet/pt/solucoes-em-mobilidade/produtos/escadas-rolantes/\\_jcr\\_content/rightPar/downloadlist/downloadList/12\\_1347375522816.download.asset.12\\_1347375522816/Escadas\\_Esteiras.pdf](http://www.schindler.com/content/br/internet/pt/solucoes-em-mobilidade/produtos/escadas-rolantes/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/12_1347375522816.download.asset.12_1347375522816/Escadas_Esteiras.pdf)>. Acesso em: 6 de jun. de 2014.

HARRIS, T. **Como funcionam as escadas rolantes.** Disponível em:

<<http://ciencia.hsw.uol.com.br/escadas-rolantes1.htm>>. Acesso em: 19 de abr. de 2014.

MARQUES, L. C. **Inversores de Frequência.** Disponível em:

<<http://coral.ufsm.br/desp/luizcarlos/aula2of2.pdf>>. Acesso em: 19 de abr. de 2014.

MATTOZO, V. **Conservação de energia.** Disponível em:

<<http://www.guiafloripa.com.br/sites/energia/energia/conservacao.php>>. Acesso em: 03 de abr. de 2014.

MUNDO VESTIBULAR. **Corrente Elétrica.** Disponível em:

<<http://www.mundovestibular.com.br/articles/757/1/CORRENTE-ELETRICA/Paacutegina1.html>>. Acesso em: 06 de junho de 2014.

OECD/IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050.** Paris, 2013. 241 p.

PERFECTUM: SERVIÇOS DE ENGENHARIA. **Correntes De Partida.** Disponível em:

<[http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/correntes\\_de\\_partida.html](http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/correntes_de_partida.html)>. Acesso em: 10 de jun. de 2014.

POWERSINES. **Choosing the best energy efficiency solution for escalator motors.**

Disponível em: <[http://www.powersines.com/SinuMEC\\_Market\\_need](http://www.powersines.com/SinuMEC_Market_need)>. Acesso em: 10 de jun. de 2014.

**PRECISION POWER LABS. Hotel/Casino Escalator Motor Controller: Energy Cost Reduction Results.** 2006. Disponível em: <[http://www.ehs-tech.com/he/media/ACIreports/Escalator%20Data%20Summary\\_anonymous.pdf](http://www.ehs-tech.com/he/media/ACIreports/Escalator%20Data%20Summary_anonymous.pdf)>. Acesso em: 6 de jun. de 2014.

**STEP. Controlador e atuador integrado de escada rolante.** Disponível em: <<http://liftcontrolsystem.com.pt/1-5-escalator-integrated-drive.html>>. Acesso em: 03 de abr. de 2014.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ. Conversão de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações,** 3. ed. Eletrobras/Procel Educação, 2006.

**Como funciona a escada rolante?** Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-funciona-a-escada-rolante>>. Acesso em: 03 de abril de 2014.

**Inversor de Frequência.** Disponível em: <[http://www.faculadadedavilamatilde.com.br/publicacoes/inversores\\_de\\_frequencia.pdf](http://www.faculadadedavilamatilde.com.br/publicacoes/inversores_de_frequencia.pdf)>. Acesso em: 19 de abril de 2014.