



## CHUVEIROS ELETRÔNICOS: CONHECER PARA TER CONSCIÊNCIA

**Luiz Carlos Gili** – luizcarlosgili@gmail.com  
**Roberto Buerger** – roberto\_buerger@hotmail.com  
**Cleiton Gili** – cgilinet@gmail.com  
**Sérgio Vidal Garcia Oliveira** – svgo@furb.br  
**Adriano Péres** – aperes@furb.br  
Universidade Regional de Blumenau  
Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca  
89030-000 – Blumenau – SC

***Resumo:** Este trabalho apresenta a análise do gradador monofásico aplicado ao controle de temperatura de chuveiros elétricos. Chuveiros elétricos são amplamente utilizados no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste em virtude da variação de temperatura em relação as estações do ano. O chuveiro elétrico consiste de uma resistência elétrica normalmente feita por fio que ao ser percorrido por uma corrente elétrica aquece a água que a circunda. Resistências elétricas são cargas lineares que não distorcem a forma de onda da corrente elétrica, tampouco defasam tensão e corrente. Entretanto, ao ser controlado eletronicamente através de gradador, o sistema eletrônico distorce a forma de onda da corrente que circula na resistência, provocando a redução do fator de potência do equipamento e interferências eletromagnéticas que podem interferir em sistemas de comunicação ou outros equipamentos eletrônicos. Apresentam-se a análise harmônica, resultados de simulação, resultados experimentais e discussões a respeito do uso de chuveiros eletrônicos.*

***Palavras-chave:** Gradador, distorção harmônica, fator de potência, conhecimento, educação.*

### 1. INTRODUÇÃO

Os chuveiros elétricos são amplamente utilizados no Brasil para aquecimento de água para banho. Consistem basicamente de ligas metálicas e materiais plásticos. Seu funcionamento se baseia em aplicar tensão elétrica sobre uma resistência. Ao ser aplicada a tensão surge uma corrente elétrica. Conforme a Lei de Ohm (Equação 1), a corrente elétrica é proporcional a tensão aplicada e a constante de proporcionalidade é denominada pelo termo resistência. Ao ser circulada por corrente a resistência aquece e dissipa sua potência aumentando a temperatura da água. Na Figura 1 apresenta-se o circuito elétrico equivalente para um chuveiro. A fonte de tensão (V) representa a fonte de energia fornecida pela concessionária, R representa a resistência elétrica do chuveiro e I representa a corrente elétrica. A potência dissipada é dada pela Equação 2.

Realização:



Organização:



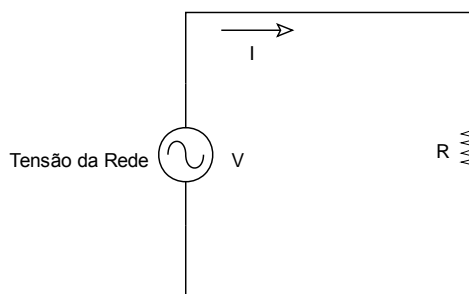


Figura 1 – Circuito elétrico equivalente do chuveiro.

$$V = R I \quad (1)$$

$$P = R I^2 \quad (2)$$

A configuração do chuveiro dada pela Figura 1 não é prejudicial ao sistema elétrico, pois a corrente que flui através de uma resistência é uma imagem da tensão e, assim, o Fator de Potência é unitário e não há distorção harmônica. Na Figura 2 apresentam-se a tensão sobre e a corrente através da resistência do chuveiro obtidas por simulação numérica.

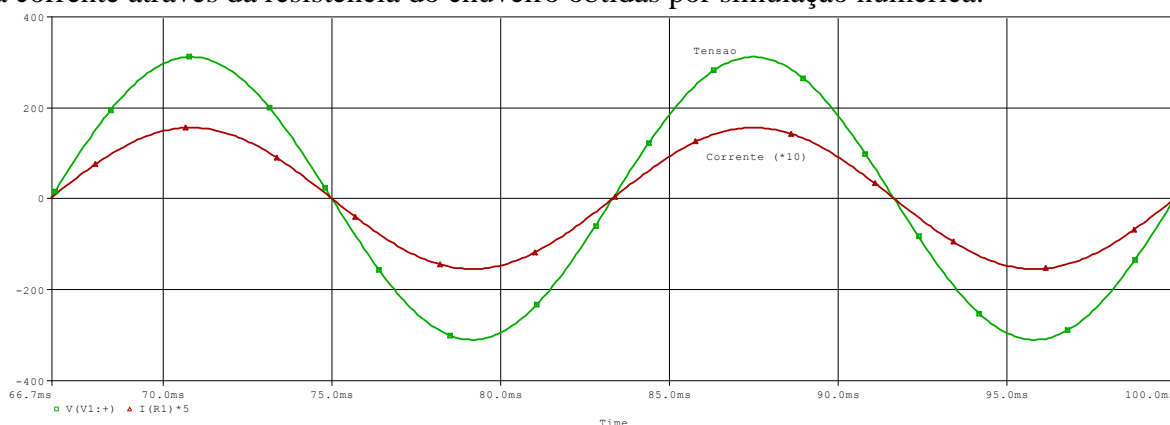


Figura 2 – Formas de onda de tensão sobre e corrente através da resistência do chuveiro.

## 2. VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

### 2.1. Variação Mecânica da Temperatura

Todo chuveiro elétrico tem algum dispositivo para ajuste de temperatura da água. Os mais comuns possuem dispositivos mecânicos que selecionam contatos elétricos para ajustar o valor da resistência e, em consequência, ajustar a temperatura da água através de mais ou menos potência dissipada. Através da análise das Equações (1 e 2) percebe-se que uma resistência de valor menor drena maior corrente e, por consequência, acaba dissipando maior potência, já que a potência é proporcional ao quadrado da corrente. Dessa forma, a mudança mecânica da chave ou seletor altera o valor da resistência e, em consequência, a temperatura da água. A Figura 3 mostra uma resistência com derivações, proporcionando três possibilidades de valores de resistência e quatro possibilidades de temperatura de água.

O aquecimento diferenciado é importante em virtude da necessidade de cada indivíduo em relação à temperatura de banho mais adequada para si. Também é muito importante em



virtude das estações do ano, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, onde se tem inverno com temperaturas baixas. Assim, no inverno se seleciona resistência de menor valor para dissipar maior potência (posição 2 ou 3 na Figura 3). Este tipo de controle de temperatura da água em chuveiros é bastante eficaz, relativamente barato e com tecnologia dominada há várias décadas, tendo sido usado largamente no Brasil. A desvantagem deste sistema é que a variação da temperatura ocorre em estágios, não sendo permitido valores intermediários. Disso resulta, em alguns casos, dificuldade para se ajustar a temperatura desejada para o banho. Além disso, há que se ajustar a quantidade de água para se obter a temperatura desejada. Outro inconveniente é que o seletor se situa no próprio chuveiro, tornando-se de difícil acesso a pessoas de baixa estatura ou com problemas de mobilidade.

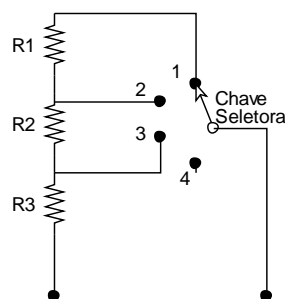


Figura 3 – Resistência elétrica com seletor mecânico.

## 2.2. Variação Eletrônica da Temperatura

Com o avanço da eletrônica, o baixo custo relativo de componentes eletrônicos e a busca por maior conforto fez surgir a possibilidade de variação eletrônica da resistência equivalente do chuveiro elétrico. A princípio uma ideia extraordinária, alterar a resistência do chuveiro sem chave mecânica e com variações contínuas, permitindo a variação de potência com controle fino e sem ter de ajustar a quantidade de água. Entretanto, como será mostrado ao longo do trabalho, essa característica, se mal utilizada, provoca consequências danosas ao sistema elétrico.

A variação eletrônica da resistência elétrica é obtida com o uso de um gradador, o qual é um circuito bastante simples, formado por dois tiristores conectados em antiparalelo ou um triac. O triac é um dispositivo formado por dois tiristores conectados em antiparalelo que já vem de fábrica assim encapsulado. A Figura 4 apresenta o circuito do gradador aplicado ao chuveiro elétrico. Essa configuração é denominada por certa parte da população e fabricantes como chuveiro eletrônico. Como se vê na Figura 4, a resistência não possui derivações, pois a variação de seu valor será obtida através de comando eletrônico.

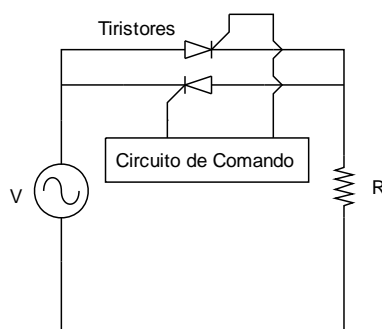


Figura 4 – Gradador aplicado ao chuveiro elétrico.



O gradador baseia-se no princípio de se comandar o tiristor em um ângulo de rede tal que se ajuste o valor da tensão eficaz aplicada a resistência de carga. O tiristor somente entra em condução após se aplicar corrente em seu terminal de gatilho, assim, pode-se ajustar o valor equivalente da resistência vista pela fonte. A variação do valor da resistência pode se dar de forma contínua e com ajuste fino, permitindo uma variação suave da temperatura sem a necessidade de ajuste do fluxo de água.

As formas de onda experimentais características para o gradador acionando um chuveiro elétrico são mostradas na Figura 5. Nesta figura apresentam-se a tensão e a corrente fornecidas pela rede e a tensão sobre e a corrente através da carga para um ângulo de disparo ( $\alpha$ ) qualquer. Percebe-se que a tensão aplicada à resistência do chuveiro não é senoidal, mas sim uma parte recortada da senoide da rede. A corrente na rede fica recortada e, dessa forma, geram-se componentes harmônicas de corrente que resultarão em distorção harmônica. Se há distorção harmônica, então haverá queda no fator de potência. Isso é um resultado ruim e não deveria ser aceito, já que a resistência do chuveiro é uma carga linear, porém com a inclusão dos tiristores torna-se uma carga não linear.

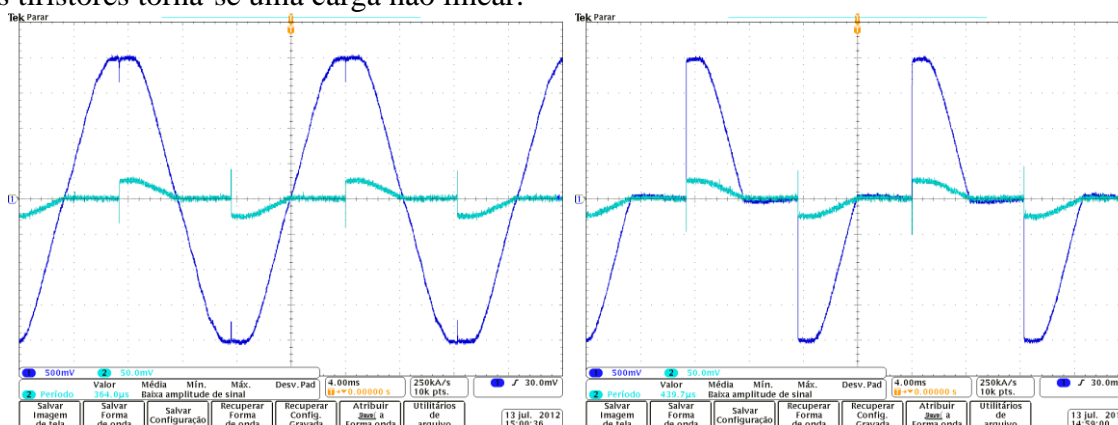


Figura 5 – Formas de onda para o chuveiro acionado por Gradador. Esquerda: tensão e corrente fornecidas pela rede. Direita: Tensão e corrente na carga (resistência).

### 2.3. Equacionamento e Resultados

Para o sistema elétrico interessa as grandezas que dele farão parte, assim, a tensão e a corrente da rede devem ser analisadas. Da Figura 5 percebe-se que a tensão na rede é senoidal e não há distorção harmônica, já a corrente na rede é distorcida e deve ser analisada em termos da sua intensidade em amperes e seu espectro harmônico. As equações de maior interesse são apresentadas a partir da definição do Fator de Potência (FP), equação (3).

$$FP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

$$P = V_{1ef} I_{1ef} \cos(\varphi_1) \quad (4)$$

$$S = V_{1ef} I_{Tef} \quad (5)$$

$$I_{Tef} = \sqrt{I_{1ef}^2 + I_{2ef}^2 + \dots + I_{nef}^2} \quad (6)$$



$$I_{T_{ef}} = \frac{V_{1ef}}{R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2\pi}} \quad (7)$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2}V_{1ef}}{R} \quad (8)$$

$$I_{nef} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (9)$$

$$a_n = \frac{\sqrt{2}V_{1ef}}{\pi R} \left[ \frac{\cos[(n+1)\alpha] - \cos[(n+1)\pi]}{n+1} - \frac{\cos[(n-1)\alpha] - \cos[(n-1)\pi]}{n-1} \right] \quad (10)$$

$$b_n = \frac{\sqrt{2}V_{1ef}}{\pi R} \left[ \frac{\text{sen}[(n+1)\alpha]}{n+1} - \frac{\text{sen}[(n-1)\alpha]}{n-1} \right] \quad (11)$$

Sendo:

$FP$  – fator de potência;

$P$  – potência ativa dissipada na carga;

$S$  – potência aparente fornecida pela rede;

$V_{1ef}$  – tensão eficaz da componente fundamental da rede;

$I_{1ef}$  – corrente eficaz da componente fundamental da rede;

$\varphi_1$  – ângulo de defasagem entre as componentes fundamentais de tensão e corrente da rede;

$I_{T_{ef}}$  – corrente eficaz total da rede;

$\alpha$  – ângulo de disparo dos tiristores;

$I_m$  – corrente de pico da rede quando  $\alpha=0$ ;

$I_{nef}$  – corrente eficaz da  $n$ -ésima componente harmônica;

$a_n$  e  $b_n$  – coeficientes da componente harmônica de ordem  $n$ ;

$n$  – número inteiro que representa a ordem da componente harmônica (1, 2, 3, 4, ...);

$R$  – resistência de carga.

As principais componentes harmônicas de corrente são representadas pelo gráfico da Figura 6, tais harmônicas são dependentes do ângulo de disparo dos tiristores ( $\alpha$ ) (BARBI, 2006). As correntes harmônicas mais significativas são as de ordem 1, 3, 5 e 7 e as harmônicas de ordem par são nulas para essa estrutura.

Utilizando-se do equacionamento podem ser obtidos os valores das componentes harmônicas geradas pelo gradador ao acionar um chuveiro com determinado ângulo de disparo ( $\alpha$ ). Na Tabela 1 apresentam-se os resultados calculados e experimentados das principais componentes harmônicas para  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ . Percebe-se que as componentes harmônicas, de uma forma geral, aumentam suas amplitudes com o aumento de  $\alpha$  e há coerência entre valores calculados e experimentados.

A distorção harmônica total para os dois casos foram de 23% e 60%, respectivamente para  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ . Já o fator de potência foi de 0,96 e 0,72, respectivamente para  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ . Percebe-se, claramente a desvantagem do uso do gradador para acionamento de chuveiro elétrico, pois a sua aplicação com o comando tradicional transforma uma carga





naturalmente linear (R) em uma carga não linear que gera harmônica e deteriora o fator de potência. Caso não se utilizasse o gradador a distorção harmônica total seria nula e o fator de potência seria unitário, representando o caso ideal de uma resistência elétrica.

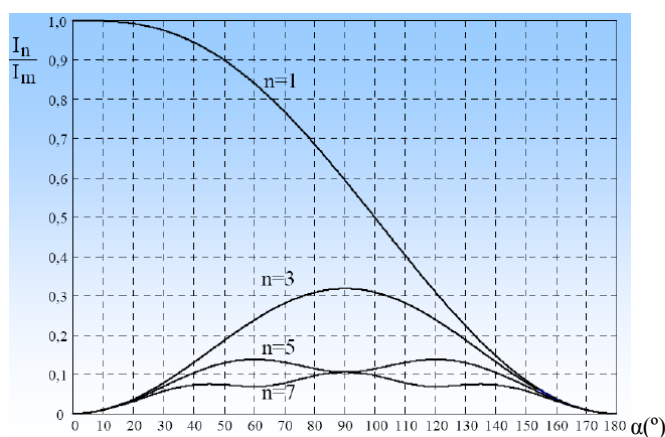


Figura 6 – Componentes harmônicas da corrente normalizadas em relação a  $I_m$  para chuveiro acionado por Gradador (BARBI, 2006).

**Tabela 1 – Componentes Harmônicas de Corrente**

$V_{1ef} = 220V$        $P = 5500W$        $I_m = 35,4A$        $R = 8,8\Omega$

Ordem da Harmônica	Valores Calculados		Valores Experimentados	
	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=90^\circ$
1	32,9A	20,9A	32,5A	20,8A
3	5,6A	11,3A	5,5A	11,2A
5	4,2A	3,7A	4,1A	3,7A
7	2,8A	3,7A	2,6A	3,7A

Os cursos de Engenharia Elétrica ou Eletrônica devem explorar exemplos desse tipo para despertar nos estudantes o senso crítico. Deve-se mostrar que determinadas soluções adotadas no passado já não são mais adequadas à realidade da tecnologia atual, devendo-se optar por técnicas mais apropriadas que não degradem as formas de onda do sistema.

## 2.4. Comando por Ciclos Inteiros

O gradador em si não é o vilão da deterioração da forma de onda da corrente elétrica, mas sim a estratégia de comando utilizada. Nas Sessões 2.2 e 2.3 as análises foram feitas para comando por fase, ou seja, habilitam-se os tiristores a conduzirem no momento necessário (ângulo  $\alpha$ ) para gerar uma tensão eficaz de carga requerida para a dissipação de potência desejada. Esta forma de comando distorce a forma de onda, gerando harmônicas e reduzindo o fator de potência.

Pode-se utilizar o gradador acionado por ciclos inteiros. Tal estratégia de controle é baseada em se controlar o número de ciclos inteiros de uma senoide ( $m$ ) que se vai aplicar a carga em relação a um número fixo de ciclos considerados na análise ( $M$ ). O número de ciclos ( $m$ ) é proporcional ao tempo ( $T_1$ ) e o de ciclos ( $M$ ) ao tempo ( $T$ ). A relação entre tempos e números de ciclos é dada pela expressão (12), já a potência equivalente ( $P_{eq}$ ) dissipada pela resistência de carga em  $M$  pulsos é dada pela expressão (13). A representação desta estratégia



é apresentada na Figura 7, onde se mostra o sinal experimental de tensão que se aplica à carga. Percebe-se claramente que se aplica tensão senoidal durante certo intervalo de tempo e nenhum sinal no restante do tempo analisado.

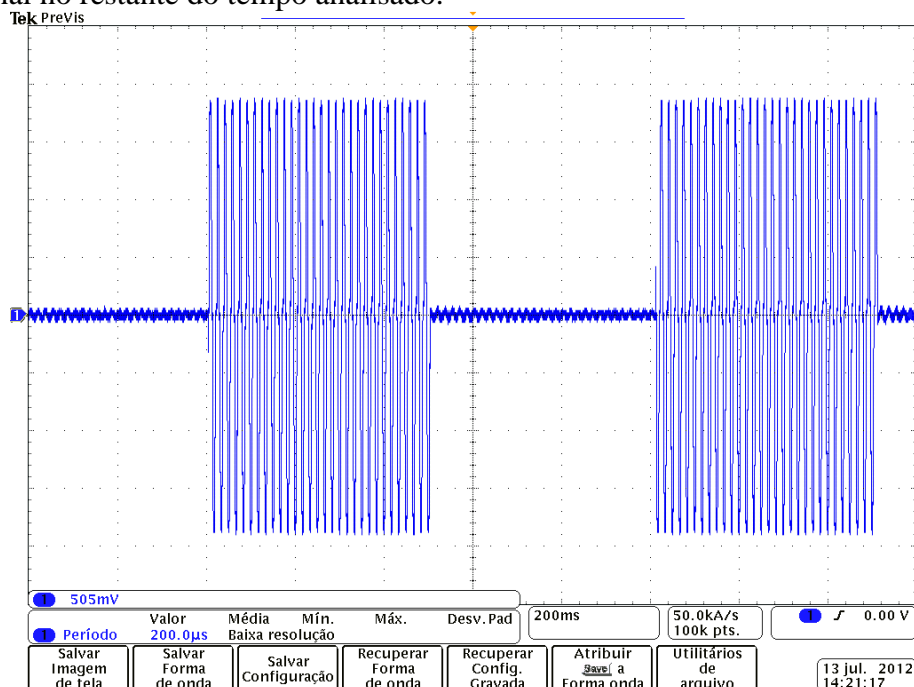


Figura 7 – Tensão da rede e tensão aplicada à carga para comando por ciclos inteiros.

$$\frac{T_1}{T} = \frac{m}{M} \quad (12)$$

$$P_{eq} = \frac{m P}{M} \quad (13)$$

Sendo:

$m$  – número de ciclos aplicados a carga;

$M$  – número de ciclos considerados na análise;

$T_1$  – tempo equivalente ao número de ciclos  $m$ ;

$T$  – tempo equivalente ao número de ciclos  $M$ ;

$P_{eq}$  - potência equivalente dissipada pela resistência de carga;

$P$  – potência nominal da resistência de carga.

A grande vantagem do controle por ciclos inteiros é a não existência de distorção harmônica na corrente de carga e o fator de potência torna-se unitário sempre, assim, a característica linear da carga fica mantida, mesmo utilizando-se o gradador.

O controle por ciclos inteiros é especialmente vantajoso quando utilizado para fins de aquecimento, não sendo aconselhável para variação de luminosidade, tampouco para acionamento de cargas indutivas.

Esta característica mostra que o gradador pode continuar a ser utilizado, entretanto, tem-se de exigir através de normas que seu fator de potência deve ser unitário.

A desvantagem deste controle é a geração de um efeito chamado *Flicker* ou cintilamento, o qual se caracteriza pela flutuação de tensão causado por cargas com variações rápidas de demanda.



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema elétrico brasileiro é amplo, diversificado e complexo em tipos de cargas existentes, sendo equivalente ao dos principais países industrializados do mundo. Entretanto, carece de normas atualizadas em relação aos tipos de cargas modernas. Sistemas eletrônicos sem controle de harmônicas e com baixo fator de potência são oferecidos ao mercado nacional sem nenhuma forma de controle, deteriorando a forma de onda da corrente fornecida pelo sistema. Na presença de distorção harmônica aumentam-se as perdas do sistema, reduz-se a potência disponível de transformadores, reduz-se a vida útil de equipamentos, entre outros malefícios. Esta realidade não é mais aceitável para um país em que a engenharia é desenvolvida e seus profissionais são qualificados e confiáveis.

Não se quer com este artigo que se baixe regulamentação impedindo a fabricação ou comercialização de chuveiros elétricos com controle eletrônico de temperatura, mas sim a exigência de utilização de uma forma mais bem elaborada de controle que garanta a não geração de harmônicas e que reflita o desenvolvimento tecnológico do país.

As escolas brasileiras de engenharia devem explorar estes exemplos práticos que afetam o cotidiano para disseminar em seus egressos o espírito crítico e a necessidade da cobrança por normas e procedimentos legais que reflitam adequadamente o nível tecnológico da sociedade e que levem a um melhor aproveitamento energético no país.

Ao se deparar com a realidade o estudante toma consciência do funcionamento dos sistemas e pode assumir um papel de ator em seu mundo, podendo utilizar de seu conhecimento para alterar a realidade que o afeta.

### 4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARBI, Ivo. Eletrônica de Potência. 6. ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2010. 315 p, il.

## **ELECTRONIC SHOWERS: LEARN TO BE AWARE**

**Abstract:** *This paper presents the analysis of an AC-AC single phase converter applied to temperature control of electric showers. Electric showers are widely used in Brazil, mainly in the South and Southeast by reason of temperature change over the seasons. The shower consists of an electrical resistance wire that usually made to be driven by an electric current heats the water that surrounds. Electrical resistors are linear loads that do not distort the waveform of the electric current, voltage and current lag with regard either. However, to be controlled electronically via an AC-AC single phase converter, the electronic system distorts the waveform of the current that circulates in the resistance, causing the reduction of the power factor of the equipment and electromagnetic interference that can interfere with communications systems or other electronic equipment. It is presented the harmonic analysis, simulation and experimental results and discussions regarding the use of electronic showers.*

**Key-words:** *AC-AC single phase converter, harmonic distortion, power factor, knowledge, education.*