

## AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL LUMINOTÉCNICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO

**Resumo:** *Um dos fatores que impulsionaram o desenvolvimento de diversas tecnologias é a busca constante da humanidade pelo conforto e comodidade. Isso está diretamente relacionado ao desenvolvimento da automação residencial. No entanto, devido à complexidade. Em vista disso, este trabalho apresenta uma análise comparativa entre três projetos para a automação do sistema de iluminação de uma residência. Dois dos sistemas de automação foram desenvolvidos pelos próprios autores para uma implantação de baixo custo utilizando microcontroladores (Arduino e ESP32) através de diferentes canais de comunicação sem fio (Wi-Fi e Bluetooth), o terceiro sistema já é um dispositivo que já existe no mercado. Esses sistemas de automação foram implementados em um modelo de residência popular e comparados entre si em termos de consumo de energia, custo de implementação e eficiência de projeto. Os três sistemas foram analisados com dois tipos diferentes de lâmpadas para resultados mais consistentes. Ao final da análise dos sistemas propostos neste trabalho, foi realizado um estudo de caso em uma instalação da UFPA.*

**Palavras-chave:** *Automação residencial. Qualidade de energia. Economia de energia.*

### 1 INTRODUÇÃO

A automação surgiu nos primórdios da Humanidade, ausente de uma data específica que se caracterize como marco.

A Revolução Industrial alavancada no século XVIII propiciou ainda mais a Automação no mundo, surgida a partir da mecanização, largamente ainda utilizados em muitos processos produtivos. Neste contexto a automação residencial também conhecida como domótica, residência inteligente ou casa do futuro, trata da integração de serviços e tecnologias, que tem por finalidade tornar uma residência automatizada e obter aumento em relação a segurança, conforto e praticidade [1]. Considera-se automatização qualquer processo que auxilie o ser humano nas suas tarefas do dia-a-dia, sejam elas comerciais, industriais, domésticas ou no campo.

Cronologicamente, o desenvolvimento dos sistemas de automação residencial surgiu depois de seus similares nas áreas industrial e comercial. Por motivos econômicos e de escala de produção, os fabricantes e os prestadores de serviços, num primeiro momento, focaram nos segmentos que lhes propiciam maior rapidez no retorno de seus investimentos. No mercado brasileiro isto ocorreu de maneira similar, os primeiros sistemas automatizados de controle foram concebidos para aplicações especificamente industriais, ainda na década de 70 [2].

Os sistemas domésticos inteligentes sem fio desempenham um papel substancial na vida humana devido à sua flexibilidade, portabilidade. O sistema de casas inteligentes é benéfico ao cotidiana da sociedade, pois reduz a carga de trabalho humano, economiza eletricidade e reduz as preocupações com segurança doméstica e laboral.

Com os baixos índices de natalidade e o conseqüente envelhecimento, e muitas destas pessoas idosas morando sozinhas, e precisando das facilidades propiciadas pela automação das tarefas domésticas do dia a dia, fortalece o lema principal por trás da ideia do sistema doméstico inteligente em reduzir os esforços humanos, o consumo de eletricidade e ajudar os idosos, deficientes e crianças. Do ponto de vista da segurança, se algum intruso tentar entrar com força, haverá um sistema antifurto que acionará o alarme e notificará o proprietário para que este tome as medidas cabíveis imediatamente[3]. Outro foco principal da automação é controlar o status de dispositivos elétricos, entretanto a segurança residencial também vem crescendo neste meio.

Embora existam várias tecnologias utilizadas, os dispositivos móveis desempenham um papel importante, na automação de eletrodomésticos ou para sinalizar alertas em situações de risco [3].

Segundo [4], “a automação residencial pode ser definida como um conjunto de tecnologias que ajudam na gestão e execução de tarefas domésticas cotidianas. A sua utilização tem por objetivo proporcionar um maior nível de conforto, comodidade e segurança além de um menor e mais racional consumo de energia”.

Por trás da automação residencial existem diversos elementos envolvidos, de simples sensores até complexas centrais de automação, que fornecem uma experiência ideal para as necessidades, desejos e condições de cada usuário. Dificilmente encontrar-se-á uma Residência Inteligente sem algum dos elementos: Controladores, Sensores, Atuadores, Barramentos e Interfaces [1].

Quando se imagina uma residência automatizada, em primeiro lugar pressupõe-se uma casa de alto padrão, onde o luxo é um dos quesitos básicos observados. Antigamente, este era um cenário bastante comum, mas isto vem mudando. Hoje, ter alguns itens automatizados na residência não é mais visto como status. Apesar disto, ter uma casa integralmente automatizada, infelizmente, até então é acessível à poucos. A “democratização” crescente da automação residencial se deve ao surgimento cada vez maior de fabricantes e sistemas mais inovadores. Com isso, os custos dos equipamentos são reduzidos de forma significativa, tornando mais acessível o uso dessas tecnologias. [5].

Desta fora neste trabalho será desenvolvida uma análise em uma maquete para avaliar a influência que os sistemas de automação residencial tem sobre a qualidade e a eficiência energética assim como o tipo de lâmpadas utilizadas em um projeto, essas análises servirão para construção de um projeto de melhoria na parte de iluminação do auditório de eventos do CEAMAZON..

## 2 FUNDAMENTOS DE LUMINOTÉCNICA

Uma boa iluminação requer igual atenção para a quantidade e qualidade da iluminação. Embora seja necessária a provisão de iluminância em quantidade suficiente para uma tarefa, em muitos exemplos a visibilidade depende da maneira pela qual a luz é fornecida, das características da cor da fonte de luz e da superfície em conjunto com o nível de ofuscamento do sistema e, assegurando adequada visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual, desconforto e acidentes laborais. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas [6].

Os parâmetros para criar as condições visuais confortáveis estão estabelecidas na norma técnica NBR8995/2013. Tais valores podem ser atingidos com a utilização de soluções energeticamente eficientes.

Existem também parâmetros ergonômicos visuais, como a capacidade de percepção e as características e atributos da tarefa, que determinam a qualidade das habilidades visuais do usuário e, conseqüentemente, os níveis de desempenho.

Iluminância, Iluminamento, ou intensidade de iluminação é a grandeza que relaciona o fluxo luminoso irradiado por uma determinada fonte de luz que incide na direção perpendicular uma superfície situada a uma certa distância desta fonte, representada pela letra E, e tendo como unidade de medida lux (lx) [7] e [8]. Conforme ilustra a Fig. (1).

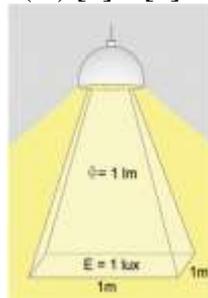


Fig. 1: Representação gráfica de Iluminância [9].

O fluxo, não é distribuído uniformemente, de maneira que ao ser medida, não terá o mesmo valor em todos os pontos da área em questão.

A Norma recomenda a pratica de cuidados com a uniformidade dos níveis de iluminamento, afim de que o espaço onde as funções são desempenhadas sejam iluminadas o mais uniforme possível, além do cuidado com o controle e limitação de ofuscamento [6].

A Norma não especifica como os sistemas ou técnicas de iluminação devem ser projetados a fim de aperfeiçoar as soluções para locais específicos de trabalho. Estas podem ser encontradas nos guias pertinentes e relatórios de [6].

Luminância é uma medida da densidade da intensidade de uma luz refletida numa dada direção, cuja unidade SI é a candela por metro quadrado (cd/m<sup>2</sup>). Descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície em questão, e decai segundo um ângulo sólido [7] e [8], Fig. (2), o mesmo pode ser determinado pela Equação (1).

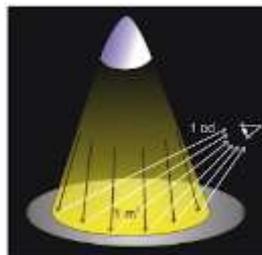


Fig. 2: Decaimento da Luminância segundo um ângulo sólido [9].

$$L_v = \frac{d^2 F}{dS d\Omega \cos\theta} \quad (1)$$

Onde,  $L_v$  é a luminância em cd/m<sup>2</sup>,  $F$  o fluxo luminoso, em lumens (lm),  $dS$  o elemento de superfície considerado, em m<sup>2</sup>,  $d\Omega$  o elemento de ângulo sólido, em estereorradianos e  $\theta$  é o ângulo entre a normal da superfície e a direção considerada.

Curva da Eficácia Luminosa Espectral. O olho humano não consegue perceber a luz e as cores de forma uniforme. Existe um período de adaptação longo para a passagem de um ambiente claro para outro mais escuro, o contrário se processa de forma mais rápida. Em ambientes mais claros percebemos melhor as cores do espectro de 554 nm (verde/amarelo), enquanto que em ambientes mais escuros percebemos melhor o espectro de 507 nm (azul/verde). Este fenômeno é denominado "Efeito Purkinje". Este conceito é valioso para a

luminotécnica, visto que a mudança de zonas claras para zonas escuras e vice-versa, provocam o deslocamento da visão das cores e uma indesejável fadiga visual [10].

Eficácia luminosa espectral de uma radiação monocromática de comprimento de onda  $\lambda$ , sendo  $V(\lambda)$  para a visão fotóptica produzida pelos cones em níveis normais de luminosidade e  $V'(\lambda)$  para a visão escotópica, aquela produzida pelo ser humano em condições de baixa luminosidade [19] é a razão do fluxo radiante de comprimento de onda  $\lambda_m$ , para o fluxo de comprimento de onda  $\lambda$ , os dois fluxos produzindo sensações luminosas igualmente intensas em condições fotométricas específicas. Fig. (3)

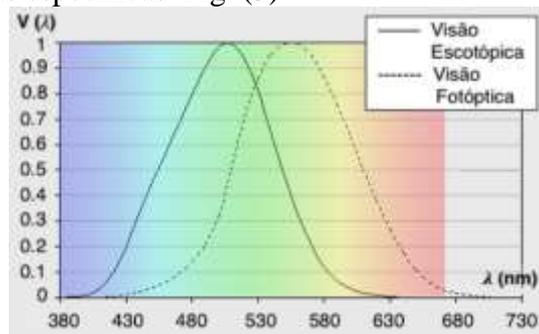


Fig. 3: Curva de eficácia luminosa espectral [10].

### 3 DISPOSITIVOS PARA AUTOMAÇÃO

#### 3.1 Arduino

O Arduino Fig. (4) foi criado em 2005 pelo professor Massimo Banzi na Itália[11]. Desde então suas aplicações no meio acadêmico cresceram exponencialmente, uma vez, que este microcontrolador é altamente didático e pode ser configurado por uma IDE (Integrated Development Environment) própria utilizando linguagem C/C++.

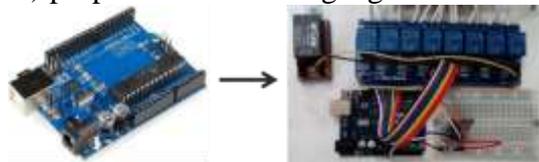


Fig. 4: Sistema de automação utilizando Arduino.

Para a montagem do sistema de automação utilizando o Arduino, foram utilizados ainda uma fonte de alimentação para reduzir e retificar a tensão de alimentação de 127 V para 5 V, um módulo com 6 relés eletromecânicos para chavear os circuitos de comendo das lâmpadas e um módulo Bluetooth para estabelecer um canal de comunicação para controle remoto via aplicativo, Fig. (4)

#### 3.2 ESP 32

O microcontrolador ESP32 é uma plataforma de *hardware* livre ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente utilizando sensores como entrada, e recomendado para aplicações na internet das coisas, por possuir módulo WiFi e Bluetooth integrado além de tamanho reduzido [12].

A plataforma utiliza-se de uma camada simples de *software* implementada em linguagem C/C++, podendo ser programada pela IDE do Arduino [13].

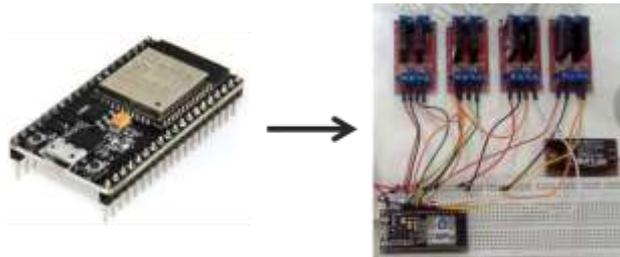


Fig. 5: Sistema de automação utilizando ESP 32.

Para a construção deste sistema foram utilizadas fontes de alimentação para reduzir os níveis de tensão, igual foi utilizada no sistema com o Arduino, além de 6 relés de estado sólido, que diferentes dos eletromecânicos, os de estado sólido possuem um circuito de acionamento formado por um acoplador óptico Fig. (5).

### 3.3 Sonoff

O relé Wi-fi Sonoff utilizado neste trabalho foi desenvolvido por uma empresa chinesa, o mesmo possibilita o acionamento remoto de cargas AC de até 10A através de um aplicativo via wi-fi, Fig. (6).

O Sonoff é composto basicamente por um relé, um ESP8266EX, um regulador de tensão AC DC que permite alimentar a placa com tensão AC na faixa de 90 a 250V e memória flash.

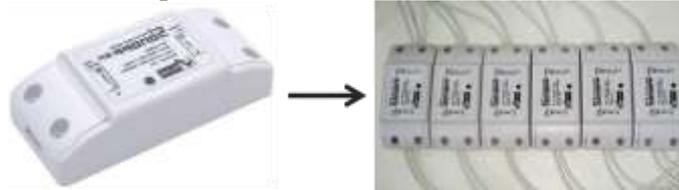


Fig. 6: Sistema de automação utilizando relé Wi-fi Sonoff modelo simples

Ao utilizar no smartphone ou tablet o app eWeLink, o Sonoff pode ser controlado de uma forma bem simples. [14]. Como este é um dispositivo comercial e compacto, foram utilizados apenas 6 Sonoffs para montar o sistema de automação.

## 4 AMBIENTES ANALISADOS

Para o estudo proposto neste trabalho foram implantados diferentes dispositivos de automação residencial com diferentes tipos de lâmpadas em uma maquete para avaliar a viabilidade de automatizar e melhorar a eficiência do sistema de iluminação do auditório do CEAMAZON.

### 4.1 Maquete

Foi construída uma maquete de uma casa seguindo o modelo de uma residência popular, uma vez que um dos principais objetivos deste trabalho é mostrar a viabilidade de implantação dos projetos de automação residencial para pessoas de classe baixa, logo os impactos da implantação destes sistemas foram estudados em uma residência de pequeno porte, a Fig. (7) ilustra a planta baixa da maquete desenvolvida.

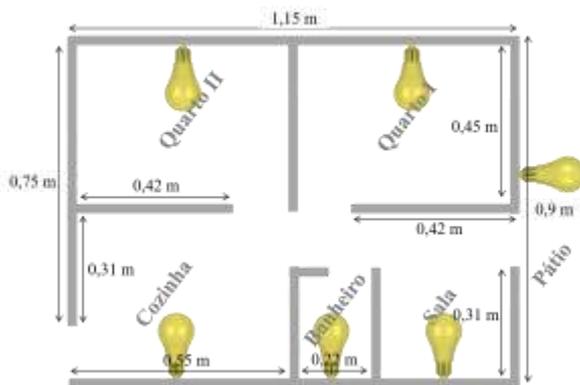


Fig. 7: Esquema da maquete desenvolvida, planta baixa e disposição das lâmpadas.

Como o objeto de estudo deste trabalho será a automação do sistema de iluminação, foram distribuídas 6 lâmpadas nos cômodos da casa.

Visto que a execução do estudo será feita dentro do laboratório em um ambiente controlado, foi desenvolvida uma rotina de acionamento das lâmpadas, Tabela (1), simulando a rotina de seus habitantes, em um cenário real.

Tabela I: Rotina de acionamento das lâmpadas

Intervalos	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Cômodo/Horário	00 as 03	03 as 06	06 as 09	09 as 12	12 as 15	15 as 18	18 as 21	21 as 24
Pátio	Ligado	Ligado					Ligado	Ligado
Sala					Ligado	Ligado	Ligado	
Quarto I			Ligado				Ligado	
Quarto II			Ligado				Ligado	
Banheiro			Ligado		Ligado		Ligado	
Cozinha			Ligado	Ligado			Ligado	

Para efetuar as análises e coleta de dados foram seguidas 6 etapas com configurações diferentes, Fig. (8), onde nas três primeiras foram feitas edições utilizando os micro controladores e as lâmpadas fluorescentes, já nas três ultimas foram utilizadas lâmpadas LED.

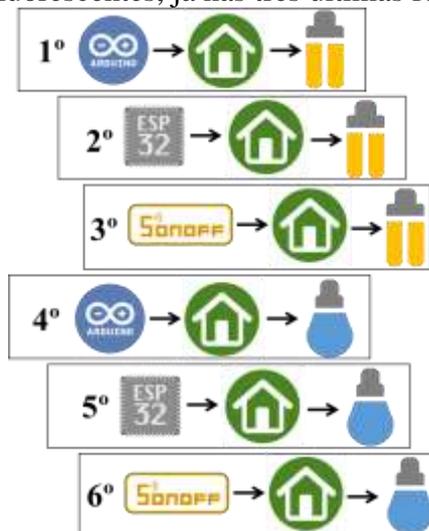


Fig. 8: Esquema para e medição dos sistemas de automação.



Fig. 9: Modelo construído.

A metodologia de execução foi idealizada conforma a Fig. (8), onde após preparada a instalação elétrica da maquete, aposicionou-se as lâmpadas conforme o esquema da Fig. (7); foram instalados cuidadosamente os três sistemas de automação, Fig. (9). Na sequência foi utilizado um analisador de energia modelo Hioki PW3198-90 para medir corrente, tensão e distorção harmônica em 6 etapas distintas, Fig. (10).



Fig. 10: Experimento montado para coleta de dados.

Uma vez que o experimento para medição foi montado em um ambiente controlado, de laboratório, adotou-se 9 min como intervalos de tempo das rotinas, o equivalente a 5% do intervalo apresentado na Tabela I.

O analisador foi configurado para coletar uma amostra das grandezas monitoradas cada 30 segundos. Como cada circuito foi analisado durante 72 minutos, obtiveram-se 144 amostras por evento.

As etapas dos ciclos de medição, organizadas pelo tipo de sistema e pelo tipo de lâmpada conectada. Cujos dados serão analisados na Seção V.

#### 4.2 Auditório CEAMAZON

Para um estudo mais amplo da aplicabilidade dos sistemas de automação e do ganho energético que a mudança das tecnologias de novas fontes de luz agregam ao ambiente, foi feita uma análise na parte de iluminação do auditório de eventos do laboratório CEAMAZON (Fig.11), localizado na Universidade Federal do Pará (UFPA)



Fig. 11: Auditório do CEAMAZON onde foi realizado o estudo.

Foram desenvolvidas simulações considerando o estado atual do sistema de iluminação a qual o auditório se encontra e, foram analisadas melhorias no projeto visando, uma maior economia e eficiência energética. As análises desenvolvidas serão mostradas a seguir.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 Maquete

Para coleta e análise dos diferentes dispositivos de automação foram considerados quatro cenários distintos.

Inicialmente foram coletados dados considerando somente o efeito das lâmpadas nos indicadores de consumo e qualidade de energia, onde as lâmpadas foram acionadas seguindo a rotina da Tabela I, sem a presença dos micro controladores na rede;

Em seguida foram consideradas as lâmpadas somados ao efeito dos diferentes dispositivo, Arduino, ESP e do Sonoff, de forma individualizada para cada recurso distintamente.

#### *Lâmpadas Florescentes*

Neste experimento foram utilizadas lâmpada fluorescente compacta 3U Empalux ref. FM11516 15W 841lm 61 lm/W 6400K 184mA E27 127V FP0, 50 vida mediana 6.000h

Primeiramente foram comparadas as variações de tensão geradas pelos quatro ambientes do experimento.

Analisando os dados da Fig. (12), é possível notar que utilizando lâmpadas fluorescentes o dispositivo Sonoff apresentou valores de tensão mais elevados, chegando a ultrapassar em alguns casos os 130 V, enquanto que os demais dispositivos apresentaram variações menores.

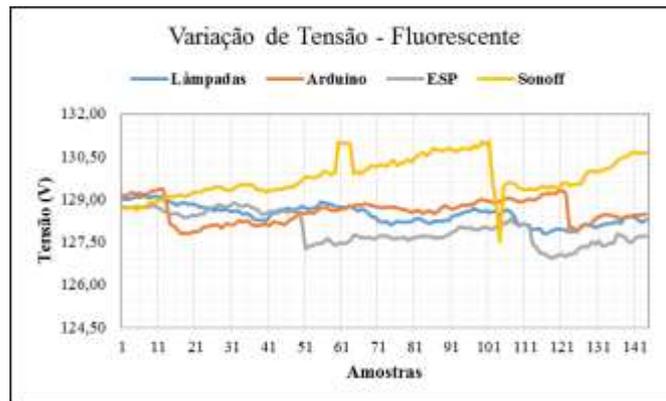


Fig. 12: Variação de Tensão para os dispositivos utilizando lâmpadas fluorescente.

Já em relação a corrente todos os ambientes apresentaram basicamente o mesmo comportamento, Fig. (13), uma vez que as cargas são as mesmas e que o consumo dos micro controladores é mínimo.

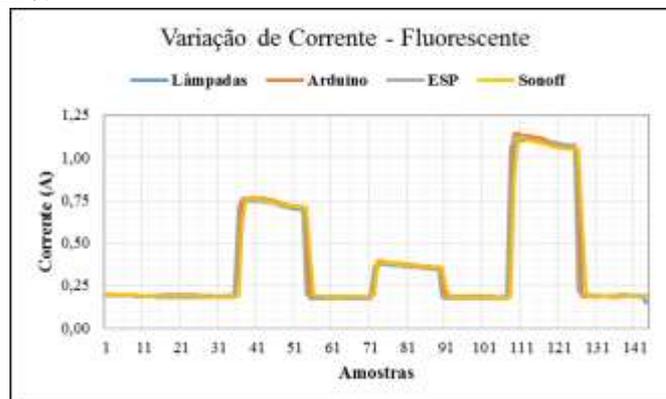


Fig. 13: Variação de Corrente para os dispositivos utilizando lâmpadas fluorescente.

Como um dos focos do presente trabalho é avaliar não somente a viabilidade econômica, mas também avaliar o impacto dos micro controladores sobre a qualidade da energia elétrica foram analisados as distorções harmônicas de corrente geradas na rede por esses dispositivos.

Para análise destas harmônicas foram coletadas as distorções até a 10ª componente, entretanto como as componentes de ordem par não apresentaram percentuais maiores que 1%, optou-se por retirá-las dos gráficos.

Analisando os dados presentes na Fig. (14), é possível observar que em todos os ambientes a geração de componentes harmônicas é basicamente igual, o que é esperado já que a curva de corrente é semelhante em todos os casos, conforme mostrado na Fig. (13).

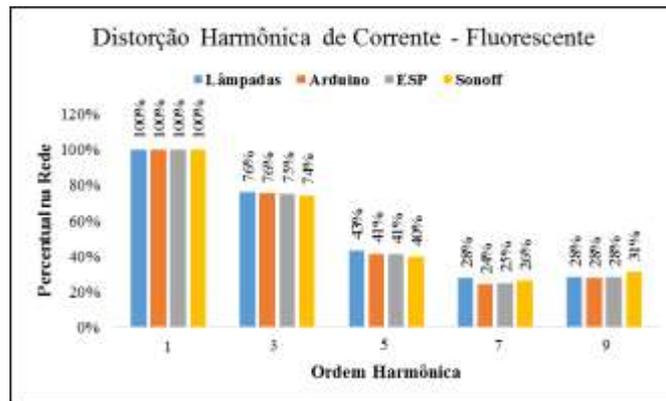


Fig. 14: Componentes harmônicas geradas na rede utilizando lâmpadas fluorescente.

### Lâmpadas LED

Dando continuidade ao desenvolvimento do trabalho foram repetidas as medições mantendo-se a mesma estrutura, entretanto com lâmpadas de modelo diferente, onde neste caso foram utilizadas lâmpadas LED Bulbo Stella ref. STH7264/65 7W 604m 86lm/W 6500K 79mA E27 100-240V FP0,70 vida útil 25.000h L70.

Semelhante aos dados obtidos para as lâmpadas fluorescentes, também neste caso com lâmpadas LED, o Sonoff foi o dispositivo que apresentou os níveis de tensão mais elevados Fig. (15).

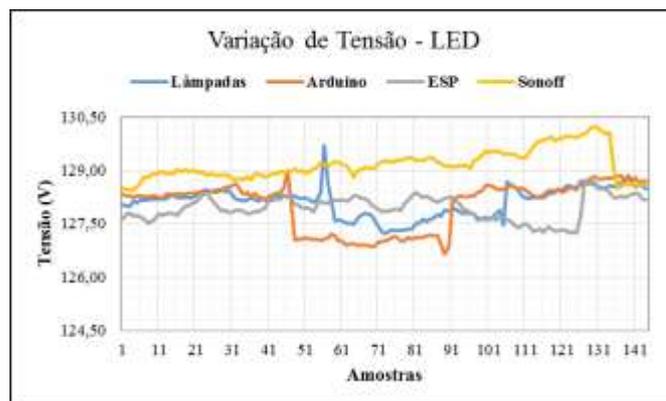


Fig. 15: Variação de Tensão para os dispositivos utilizando lâmpadas LED.

Cabe salientar que tanto para o caso anterior como para este, essas grandes variações de tensão podem ter ocorridos devido a influência de outras cargas conectadas na mesma rede.

Já em relação a variação de corrente, Fig. (16), pode-se observar que a variação é bem menor quando comparado a variação utilizando as lâmpadas fluorescentes, evidenciando o menor consumo de energia das lâmpadas de LED. Nota-se ainda que variação de corrente das lâmpadas LED é menor que a apresentada por qualquer um dos micro controladores.

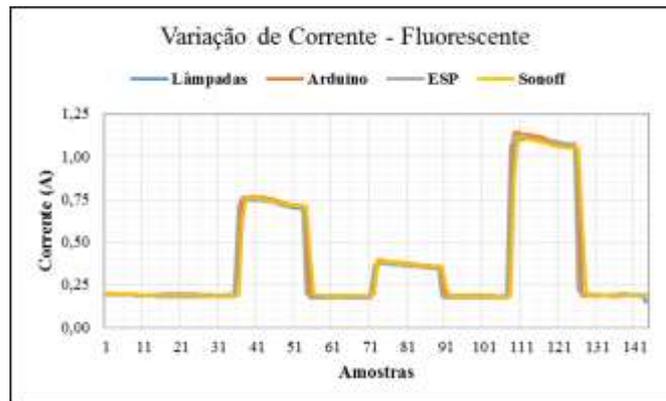


Fig. 16: Variação de Corrente para os dispositivos utilizando lâmpadas LED.

Com relação às distorções harmônicas, Fig. (17), notou-se uma grande redução nas componentes ímpares, o que evidencia que a lâmpada de LED em termos de qualidade de energia é bem melhor que as lâmpadas fluorescentes.

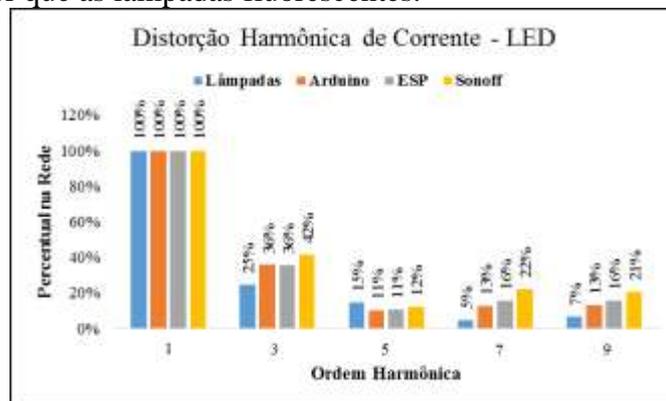


Fig. 17: Componentes harmônicas geradas na rede utilizando lâmpadas LED.

### Consumo

A Fig. (18) ilustra o consumo em kWh dos dispositivos durante os testes para as diferentes combinações de lâmpadas e sistema de automação. Salienta-se que os testes foram realizados durante um período de 1 hora e 12 minutos (5% de um dia), seguindo a rotina da Tabela I.



Fig. 18: Consumo dos sistemas medido em laboratório.

Observando os dados do consumo obtidos nas medições é possível notar que para este caso há uma economia média de 57,33% no consumo de energia trocando as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

Embasado com os dados da Fig. (18), foi estimada uma projeção do consumo mensal que cada dispositivo apresentaria, Fig. (19).



Fig. 19: Projeção do consumo mensal dos dispositivos em um mês.

Nota-se que as lâmpadas LED consomem a metade do consumo das lâmpadas fluorescentes, logo observa-se que somente o fato de trocar o tipo de lâmpada de uma residência já causa um impacto significativo tanto em parâmetros de qualidade como também consumo de energia elétrica.

## 5.2 Análise Luminotécnica.

Para uma melhor fundamentação do artigo fizemos uma simulação no Dialux Evo, *software* destinado a cálculos de iluminação, e utiliza como padrão as normas europeias IEC, com níveis mínimos de luminâncias, congêneres a NBR, além de apresentar como resultado níveis de iluminamento em qualquer plano ou superfície, e curvas de isoluminâncias, fotometria, dados técnicos, relação e posicionamento de todos os equipamentos. Este procedimento foi aplicado para as análises em laboratório, com 3 diferentes fontes de luz. Para a intervenção do Auditório do CEAMAZON; a simulação levou em consideração duas condições diferentes para o projeto atual em comparação com o projeto de modernização sugerido, tudo com objetivo de analisar comparativamente os resultados de Iluminâncias e consumos relacionados com os seus correspondentes fluxo luminosos e Potências.

### Maquete:

Após processado os cálculos com as 3 fontes, obtivemos como resultado, significativa economia, redução de 53,33% no quando substituímos a lâmpada fluorescente compacta de 15W pela lâmpada de led de 7W; e uma redução de 40% quando a mesma comparação é feita com a lâmpada led de 9w.conforme apontado na Tabela II

Tabela II: Comparativo do Consumo por tipo de lâmpada simulada

	ANÁLISE DO CONSUMO COMPARATIVO NA MAQUETE DE ACORDO COM CADA MODELO E POTENCIA DE LÂMPADA ANALISADA				
	CONSUMO (kWh)			VARIÇÕES	
	LP-FLUOR COMPACTA 15W (A1)	LP LED 7W (A2)	LP LED 9W (A3)	VAR. % A1 - A2	VAR. % A1 - A3
CONSUMO	90,00	42,00	54,00	-53,33%	-40,00%

Comparando os dados de medição do consumo obtidos com as lâmpadas Fluorescentes de 15W e fluxo luminoso 841lm e as de Led 7W fluxo luminoso 604lm, observou-se uma substancial redução, atingindo o valor médio de 57,33% no consumo e uma redução de 22,74% na Iluminância média dos ambientes; já quando no mesmo ambiente, procedemos a mudança por uma lâmpada Led 9W fluxo luminoso 867lm, auferimos uma economia de

energia de 53,33%, e um ganho médio de 10,88% nos níveis de iluminação dos ambientes na Tabela III.

Tabela III: Comparativa de Iluminâncias na Maquete.

LEGENDA AMBIENTES	GANHO DE LUMINÂNCIAS COMPARATIVAMENTE APOÓS SIMULAÇÕES COM 3 DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS (LUMINÂNCIAS EM - LUX)			VARIÁÇÕES	
	LAMP FL COMPACTA 15W (A1)	LAMP LED T8 (A2)	LAMP LED RW (A3)	VAR. % A1-A2	VAR. % A1-A3
 Sala e Cozinha	23,70	18,20	26,20	-23,21%	10,55%
 Banheiro	70,60	54,40	78,00	-22,95%	10,48%
 Quarto I	28,40	22,00	31,60	-22,54%	11,27%
 Quarto II	28,40	22,00	31,60	-22,54%	11,27%
 Varanda	13,80	10,70	15,30	-22,46%	10,87%

### Auditório do CEAMAZON

Como foi impossível pelas empresas patrocinadoras, disponibilizar em tempo os equipamentos especificados; de maneira à permitir substituí-los, e possibilita o processo de análise, medições e comparação dentre esses diferentes projetos, equipamentos e tecnologias; decidimos modelar o ambiente que será submetido a intervenção de modernização no software Dialux Evo, viabilizando desta forma a conclusão do ensaio, a finalização e a defesa deste artigo nas datas estipuladas..

Condições Atuais: Para que pudéssemos representar o mais fielmente o espaço fizéssemos uma visita ao Auditório em 11/12/2018, coletando informações das reais condições da instalação e equipamentos naquele recinto, além de subsídios complementares para facilitar a modelagem e obtenção de curvas fotométricas (IES) das luminárias e fontes de luz, além dos revestimentos de teto, parede e piso para adequar as características encontradas a correspondente refletância.

Durante a visita identificamos um grande número de lâmpadas faltando e outras queimadas, conforme pode melhor observado no relatório fotográfico apresentado na Fig. (11).

Logo para que não houvesse um resultado fictício, optamos em fazer 3 simulações:

Simulação do Atual Projeto Pleno Fig. (20): Nesta análise consideramos que todas as luminárias encontram-se em perfeito estado de funcionamento e completas, ou seja, com 2 lâmpadas instaladas em cada uma delas de acordo com as encontradas em funcionamento em cada um dos ambientes daquele espaço; conforme relação apresentada na tabela I do Apêndice B.



Fig. 20: Apresentação visual da simulação computacional do auditório considerando para o calculo o projeto atual pleno.

Simulação do Projeto atual nas condições encontradas: Foi considerando o estado em que encontramos o espaço no momento da visita técnica, conforme registro fotográfico na Fig. (11), ou seja, foram consideradas para efeito desta simulação Fig. (21), as lâmpadas queimadas e as que já foram retiradas das luminárias, conforme relação exposta na Tabela II do Apêndice B.



Fig. 21: Apresentação visual da simulação computacional do auditório considerando para o cálculo o projeto atual em uso.

Simulação do Projeto de modernização do Auditório Fig. (22), com retrofit de todas as luminárias existentes pelas novas com tecnologia de LED, conforme relação apontadas na Tabela III do Apêndice B.



Fig. 22: Apresentação visual da simulação computacional do auditório considerando para o cálculo o projeto de modernização do espaço.

Como a Norma Brasileira para iluminação de ambientes de trabalho, em vigor, ABNT NBR 15444-1 de 21.03.2013, não apresenta uma recomendação específica de Iluminância para um ambiente de Auditório, tomamos como orientação os valores prescritos para tarefas e atividades nos ambientes de Entretenimento aonde encontramos referendados como Iluminância média (Em) os valores de 200 lux para Teatros e Salas de Concerto, e 300 lux para Salas com multiuso, e a observação de que a iluminação seja controlável, estas recomendações encontram-se registradas na Tabela I do Apêndice C, que vem a ser uma parte da Tabela de Planejamento dos Ambientes, tarefas e Atividades da já acima referenciada Norma.

Levando em consideração que o palco e a plateia são os setores de maior público, sendo por este motivo demandar um maior cuidado com os níveis e resultados de iluminâncias, apresentados os resultados percebidos na tabela IV:

Tabela IV: Resultado dos Níveis de Iluminâncias por Ambiente

AMBIENTE	GANHO DE ILUMINÂNCIAS COMPARATIVAMENTE DO PROJETO DE MODERNIZAÇÃO COM AS 2 SIMULAÇÕES DO ILUMINÂNCIAS (EM - LUX)				
	ATUAL PLEND (A1)	ATUAL EM USO (A2)	MODERNIZAÇÃO (A3)	VAR. % A1-A3	VAR. % A2-A3
Luz Geral da Platéia (Nível de trabalho 0,80m)	61,20	33,30	214,00	249,67%	542,64%
Bancada em cima do Palco (Nível de trabalho 1,65m)	147,00	101,00	324,00	120,41%	220,79%
Piso do Palco (Nível de trabalho 1,10m)	140,00	94,90	311,00	122,14%	227,71%

Resultados mais completos por ambiente e superfícies específicas de cálculo podem ser encontradas nas tabelas I e II do Apêndice D.

É possível também atentar para a observação que as Iluminâncias presumidas para o novo projetos de modernização encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Norma, enquanto do ponto de vista do projeto atual, denota-se que este valor fica bem abaixo do valor normatizado.

Tomando o enfoque da conservação de energia, pode-se observar uma significativa redução de consumo, em média de 27,61 % se comparadas com a situação atual do Projeto,

conforme pode –se melhor observar pelos resultados individuais por ambiente apresentados na Tabela V abaixo.

Tabela V: Cálculo do Consumo nos ambientes do Auditório por projeto simulado

LEGENDA	AMBIENTE	ANÁLISE DO CONSUMO COMPARATIVO DO PROJETO DE MODERNIZAÇÃO COM AS SIMULAÇÕES DO PROJETO EXISTENTE				
		CONSUMO (kWh)			VARIÁÇÕES	
		ATUAL PLENO (A1)	ATUAL EM USO (A2)	MODERNIZAÇÃO (A3)	VAR. % A1 - A3	VAR. % A2 - A3
	Cabine de Controles	80,00	40,00	23,60	-70,50%	-41,00%
	Auditório	1.384,00	663,00	692,30	-49,98%	4,42%
	Sala de Apoio	64,00	64,00	34,40	-46,25%	-46,25%

### 5.3 Período de Recuperação dos Investimentos

O critério de payback continua a ser amplamente utilizado. Argumenta-se que além do real interesse dos clientes, quando os gerentes possuem informações privadas sobre projetos selecionados para implementação, é de seu interesse escolher projetos que possuem retorno rápido. Desta forma eles pretendem alavancar a carreira e melhorar sua reputação de gestão de recursos em investimentos junto aos seus contratantes. [15].

Em resumo os resultados obtidos após processar a operação dos dados foram os seguintes:

Sobre o Retrofit das Lâmpadas fluorescentes compactas por outra de LED, observamos que, quando substituída por uma LED de 7W(604lm), o retorno ocorrerá em em 4 meses com uma economia de R\$ 1.893,65 e, se trocada por uma LED de 9W(840lm) o retorno dar-se-á em 10 meses, e uma economia de R\$ 1.688,27; considerando a vida final útil do led.

Sobre o a modernização do Auditório, constatamos que na comparação entre o Projeto Pleno e novo Projeto, o retorno decorreráq em 10 meses, e uma encomia de R\$ 27.286,57. Resultados mais completos na Tabela III, Apêndice D.

### Maquete

Considerando as informações mostradas no trabalho [3], uma das contribuições deste trabalho será avaliar a acessibilidade e o impacto econômico que a implantação destes sistemas tem sobre residências de pequeno porte.

A Tabela VI mostra que segundo o relatório do Ministério de Minas e Energia de 2018, o consumo residencial médio da Região Norte equivale a 143 kWh/mês [16].

Tabela VI: Consumo/Custo de energia elétrica na Região Norte

Consumo/Custo Residencial Médio na Região Norte		
Consumo Médio (kWh/mês)	Tarifa Residencial (R\$/kWh)	Custo Média (R\$)
143	0,58462	83,60
Consumo/Custo da Iluminação na Região Norte		
Consumo das lâmpadas (%)	Tarifa Residencial (R\$/kWh)	Custo (R\$)
17%	0,58462	14,03

Considerando a tarifa cobrada pela concessionária local para esta classe de consumidores é possível estimar que em média é gasto R\$ 83,60 com a iluminação da residência [17].

Tomando como referência os dados obtidos nesta pesquisa, nota-se que as lâmpadas são responsáveis por 17% do consumo de energia elétrica em uma casa.

Um dos maiores questionamentos sobre a implantação destes dispositivos é justamente o custo do investimento. Na Tabela VII, consta um comparativo sobre o custo necessário para implantar cada um dos dispositivos utilizados nesta pesquisa, cabe salientar que este orçamento foi baseado em lojas virtuais e que o mesmo é para um sistema com 6 lâmpadas como o sistema em estudo.

Tabela VII: Custo de implantação dos dispositivos utilizados (R\$).

Arduíno					
Arduíno	6 Relés B.	Fonte	Placa Fenolite	M. Bluetooth	Total
89,9	35,7	29,9	3,4	34,9	193,8
ESP					
ESP 32	6 Relés E.S.	Fonte	Placa Fenolite		Total
66,9	113,7	29,9	3,4		213,9
Sonoff					
6 Sonoff					Total
449,4					449,4

A partir dos dados mostrados anteriormente e considerando que segundo [18], a implantação de sistemas de automação residencial pode diminuir em até 60% o consumo de energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação artificial de uma residência, é possível estimar o tempo de retorno de cada investimento, Fig. (23).



Fig. 23: Estimativa do tempo de retorno dos dispositivos.

Entretanto uma outra dúvida muito comum é referente a quantidade de energia que cada dispositivo irá acrescentar ao consumo da residência.

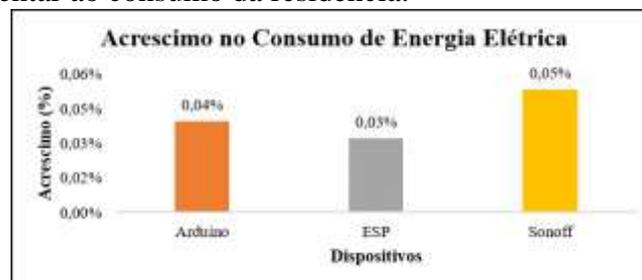


Fig. 24: Consumo de energia dos dispositivos de automação.

Buscando esclarecer este questionamento, na Fig. (24), é apresentada uma comparação da contribuição que cada dispositivo terá quando adicionado a instalação da residência, nota-se que em todos os casos o consumo é mínimo.

### Auditório CEAMAZON

Sobre o Retrofit das Lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas de LED, quando substituiu-se Fluorescente de 15W por LED de 7W, o retorno ocorreu em em 4 meses com uma economia de R\$ 1.893,65, considerando a vida final útil do led.

Já quando a Fluorescente foi trocada por uma lâmpada LED de 9W, o retorno ocorreu em 10 meses; e uma economia de R\$ 1.688,27, considerando a mesma vida final útil para o sistema.

Sobre o a modernização da instalação luminotécnica do Auditório, na comparação entre o Projeto Pleno e novo Projeto, o retorno deu-se em 10 meses, e uma economia de R\$ 27.286,57.

No entanto ao compararmos o projeto atual nas condições de uso atual, com várias lâmpadas queimadas, e níveis de Iluminâncias muito inferiores aquelas recomendados pela Norma Brasileira, e considerando como custo de implantação apenas o material em uso, e não

sua reposição teríamos o retorno do investimento em 58 meses, e uma economia de R\$ 4.178,69.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa de três sistemas de automação residencial e dois modelos de lâmpadas distintos por meio de um experimento em laboratório, com o objetivo de auxiliar na melhoria do sistema de iluminação do auditório do CEAMAZON.

Nos experimentos realizados, constatou-se que a substituição de equipamentos e fontes de luz, relevantes para o padrão de consumo de residências populares, proporcionam ganho na qualidade de energia, redução de distorções harmônicas, redução no consumo de energia e maiores níveis de iluminância.

Os resultados do experimento mostraram ainda que a implantação de qualquer um dos três dispositivos é perfeitamente viável no auditório, uma vez que os mesmos podem auxiliar na economia de energia e não apresentam consumo energético elevado.

No projeto luminotecnico realizado no auditório do CEAMAZON, além dos ganhos econômicos e de qualidade de energia, pode-se citar os seguintes benefícios: maior nível de conforto proporcionado pela dimerização dos circuitos, possibilitando a utilização de diferentes condições de iluminação adequada para diferentes tipos de apresentação e uso do auditório, e a iluminação de destaque.

### *Agradecimentos*

Ao professor Wellington Fonseca, A coordenação e ao corpo docente do CEAMAZON, as empresas Stella Importação e Exportação de Luminárias Ltda e Iluflex Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda e a todos que ajudaram na construção deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ACCARDI, A.; DODONOV, E. "Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. 11p. Tecnologias, Infraestrutura e Software, ISSN 2316-2872 T.I.S., São Carlos, v. 1, n. 2, p. 156-166, novembro 2012.

TEZA, V. R.: "Alguns Aspectos Sobre a Automação Residencial – Domótica" 108p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Florianópolis, Santa Catarina 2002.

VAIDYA V. D. and VISHWAKARMA, P. "A Comparative Analysis on Smart Home System to Control, Monitor and Secure Home, based on technologies like GSM, IOT, Bluetooth and PIC Microcontroller with ZigBee Modulation" International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), 2018.

BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. [S.l.]: Livraria da Física, 2004.

CARVALHO, G. B.: Automação residencial na construção civil. 93p. Universidade Estadual De Goiás – UEG Unidade Universitária De Ciências Exatas E Tecnológicas Curso De Engenharia Civil. Anápolis Goiás 2015.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas (pag. Vii, Introdução- ABNT ISO/CIE 8995-1:2013; Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior, publicado em 21/03/2003

MOREIRA, VINICIUS DE ARAUJO. Iluminação Elétrica, 1ª Edição – São Paulo: Blucher Editora, 1999.

Manual Luminotécnico Prático Osram ,Conceitos Básicos de Luminotécnica, editado pela Osram ,1ª Edição, Jan 15, 2010) disponível em, [www.iar.unicamp.br/lab/luz/Livros/ManualOsram.PDF](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/Livros/ManualOsram.PDF)

ELETROBRAZ, PROCEL e PROCEL EDIFICA, “Manual de Iluminação” agosto, 2011.

COSTA, G.J.C. Iluminação econômica – Cálculo e avaliação. 4º Edição – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

ROSSI, P. “História do Arduino” Disponível em <http://vaiquedacertone.blogspot.com.br/2013/04/historia-do-arduino.html>, Abril, 2013.

VAGAPOV, Y.; MAIER, A. and SHARP, A. “Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things”. Conferência: 7ª Conferência Internacional sobre Tecnologias e Aplicações da Internet, Em: Wrexham, Reino Unido, 2017.

MAESTRELLI, G. A. e NAPOLEÃO G. S. “Sistema Supervisório para Monitoramento de Energia Elétrica Residencial” Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba 2018.

OLIVEIRA, E. “Master Walker Eletronic Shop”, disponível em: <<http://blogmasterwalkershop.com.br/automacao/conhecendo-o-sonoff-rele-wifi-para-automacao-residencial/>>, acessado em 08/02/2019.

Narayanan, M.P “Observability and the payback criterion”, Journal of Business, Vol. 58 (3), pp. 309-323, 1985.

Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 ano base 2017”, disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-anuario-estatistico-de-energia-eletrica-2018>>, acessado em 19/02/2019.

CELPA, RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA ANEEL No 2.433/2018. Em vigor – De 07/08/2018 à 06/08/2019, disponível em:<<http://www.celpa.com.br/residencial/informacoes/cobranca-de-tarifas>>, acessado em 19/02/2019.

Toggweiler, J. G. e Marques, L. S. “Automação Residencial Para Conservação e Eficiência Energética por Meio de Técnicas de Inteligência Artificial” Trabalho de conclusão de curso da Faculdade de Sistema de Informação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Almut Kelber. Anna Balkenius & Eric J. Warrant, Natural Journal of science 419, 922-925 Published: 31 October 2002)

## LUMINOTECHNICAL AUTOMATION AND ENERGY EFFICIENCY: A CASE STUDY

**Abstract:** *One of the factors that drove the development of various technologies is the constant quest of mankind for comfort and convenience. This is directly related to the development of home automation. However, due to the complexity. In view of this, this work presents a comparative analysis between three projects for the automation of the lighting system of a residence. Two of the automation systems were developed by the authors themselves for a low cost deployment using microcontrollers (Arduino e ESP32) through different channels of wireless communication (Wi-Fi and Bluetooth), the third system is already a device that already exists in the market. Those automation systems were implemented in a model of popular residence, and compared with one another in terms of energy consumption, implementation cost and design efficiency. The three systems were*

*analyzed with two different types of lamps for more consistent results. At the end of the analysis of the systems proposed in this work, a case study was carried out at a UFPA installations.*

**Key-words:** Residential automation; Power quality; Energy saving.