

SENSORIAMENTO DE PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA DE ÁGUA – AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

José Rodrigo Roger (USJT) E-mail: joseroger.4697@aluno.saojudas.br
Gustavo dos Santos Abreu (USJT) E-mail: gustavoabreu.6462@aluno.saojudas.br
Jefferson Rene de Oliveira da Fonseca Lima (USJT) E-mail: jeffersonlima.0816@aluno.saojudas.br
Nathan Alves de Paula (USJT) E-mail: nathanpaula.1272@aluno.saojudas.br
Patrick Mendes Silvetre Fraga (USJT) E-mail: patrickfraga.2761@aluno.saojudas.br
Jose Roberto Braz Paiao (USJT) E-mail: jose.paiao@saojudas.br
Dulceval Andrade de Santana (USJT) E-mail: dulceval.santana@saojudas.br
Renata de Faria Barbosa (UNIFESP) E-mail: renatabarbosa28@yahoo.com.br
Thais Cavalheri dos Santos (USJT) E-mail: thais.santos@docente.unip.br

Resumo: As condições climáticas, em especial, a chuva, influencia no conforto dos moradores de uma residência, em especial as aberturas, como portas e janelas. Assim, visando o bem estar, conforto e segurança aos moradores de uma residência, esse estudo apresenta o desenvolvimento de um sensor para a detecção do fenômeno natural da ocorrência de chuva, para fins de automação residencial, como por exemplo o fechamento automático de janelas. O desenvolvimento do sensor é baseado nos princípios ópticos, especialmente os fenômenos de reflexão e de refração. Então, utilizou-se duas lâminas de vidro para “aprisionar” as gotículas de chuva de tal forma que os modos de luz alcancem a lâmina receptora e a penetrem. Quanto maior for a quantidade de luz que chega ao LDR, menor será o valor ôhmico registrado e então através do programa desenvolvido na linguagem C++ para automatizar o fechamento de janelas residenciais, a saída de controle para efetuar a ação do fechamento da janela é acionada, proporcionando melhoria na qualidade de vida (maior conforto, tranquilidade e segurança) aos moradores da residência em caso de chuva.

Palavras-chave: sensor de chuva, automatização residencial, reflexão da luz, refração da luz.

ATMOSPHERIC WATER PRECIPITATION – HOME AUTOMATION SYSTEM

Abstract: Meteorological conditions like precipitation (rainfall) influence the condition of comfort inside a house, especially through entrances such as windows and doors. In this way, in order to keep the comfort and security to the residents, this study presents the development of a sensor to detect the rainfall, to the residential automation, such as the automatic closed of windows and doors. The sensor’s design was conceived based an optical principles, mainly light reflection and refraction phenomena. Therefore, it was used two glass slides were used to trap the droplets of the rain in such a way that the light modes reach the receiving slide and permeate it. The greater the amount of light that reaches the LDR, indicates the lower the ohmic magnitude recorded and then by using the program developed in C++ language to automate the closing of residential’s windows and doors, the control output to perform this action is triggered, improvement in the quality of live (comfort, tranquility and security) to the residents of the house in case of rainfall.

Keywords: rainfall sensor, home automation, light reflection, light refraction.

1. Introdução

O clima no Brasil é bastante diversificado, as estações não são bem definidas. O estado de São Paulo, por exemplo, é caracterizado pela diversidade de climas (FATIGATI, 2009), há regiões onde a temperatura pode variar consideravelmente em um único dia, indo do calor ao

frio ou vice versa, ocasionando incidências de chuvas, mesmo em dias que *a priori* não apresentara indícios.

Pensando na comodidade para uma família que precisa se ausentar de sua residência por um longo período durante o dia, seja por razões profissionais, de lazer, entre outras, é interessante um sistema que detecte a presença de gotículas de água (chuva) e na sequência seja capaz de fechar portas e janelas da residência, ou seja, automatizá-la. No mercado há diversos tipos de medidores de chuva disponíveis, desde os mais simples, como recipientes coletores da água de chuva até sistemas mais complexos por sensoriamento remoto, como por exemplo, radar e satélites. Segundo o princípio de funcionamento, eles podem ser classificados como eletromecânicos, mecânicos, piezoelétricos, ópticos, dentre outros (LANZA & STAGI, 2008; SERRA et al., 2001)

Por outro lado, os processos de automação começaram a ser implementados a partir do século X, através da instalação de moinhos hidráulicos para produção de farinha (GOEKING, 2010). Automatizar significa otimizar tempo em um processo de produção em larga escala, reduzindo custos. Nesse sentido, podemos citar a automação na fabricação de produtos, que visavam diminuir o tempo de produção e, com certeza, reduzir o custo de fabricação (PESSÔA & SPINOLA, 2014).

Além da automação industrial, em meados da década de 80, apresentou-se a ideia de automação predial e residencial, permitindo conforto e facilidades aos moradores na medida que tornou-se possível programas atividades presentes no cotidiano doméstico como por exemplo, acionamento de iluminação externa ao anoitecer; acionamento de eletrodomésticos, abertura e fechamento de portões de garagem, fechamento de portas e janelas (BOLZANI, 2004).

Assim, esse estudo apresenta um protótipo para automação residencial, baseando-se em princípios ópticos, especialmente os fenômenos de reflexão e refração, capazes de detectar gotículas de chuva, e na sequência, realizar o fechamento automático de janelas residenciais, através do acionamento de sensores, evitando que a residência seja danificada pela chuva.

2. Metodologia

2.1. Delineamento experimental do protótipo I

Em um primeiro momento, utilizamos uma lâmina retangular de vidro, instalando na sua extremidade uma fonte de luz através de um diodo emissor de luz (LED), denominada branco quente, atuante na faixa do espectro visível. Na outra extremidade instalou-se um receptor simples de luz, no caso, um dispositivo denominado resistor dependente de luz (LDR), o qual baseia-se no princípio foto resistivo. Quanto maior a intensidade de luz sobre a face sensorial do LDR, menor será sua resistência elétrica, ou seja, temos uma proporcionalidade reversa. O LDR tal e qual o LED também funciona na faixa de espectro visível.

A figura 1 ilustra o arranjo inicial do nosso protótipo.

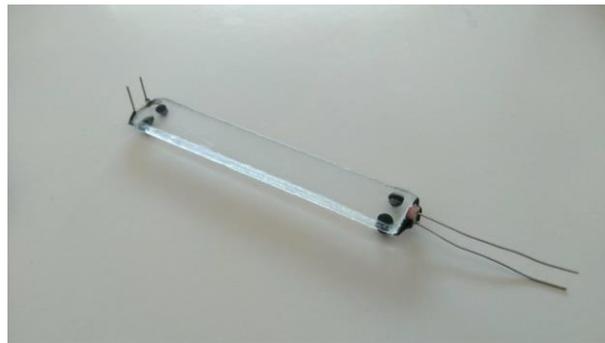


Figura 1. Arranjo inicial. Lâmina de vidro +LED + LDR. Fonte: autores.

Nesse arranjo óptico os modos de luz (raios) incidem de forma direta no vidro, “viajam” ao longo deste até alcançar a outra extremidade. Nessa extremidade está situado o LDR para detectar a quantidade de luz que o atinge.

Devido a espessura do vidro, tem-se quatro tipos de dispersão dos modos de luz transpassando o vidro, comportamento análogo ao comportamento da luz em uma fibra óptica do tipo degrau e multimodo, como ilustrado na figura 2.

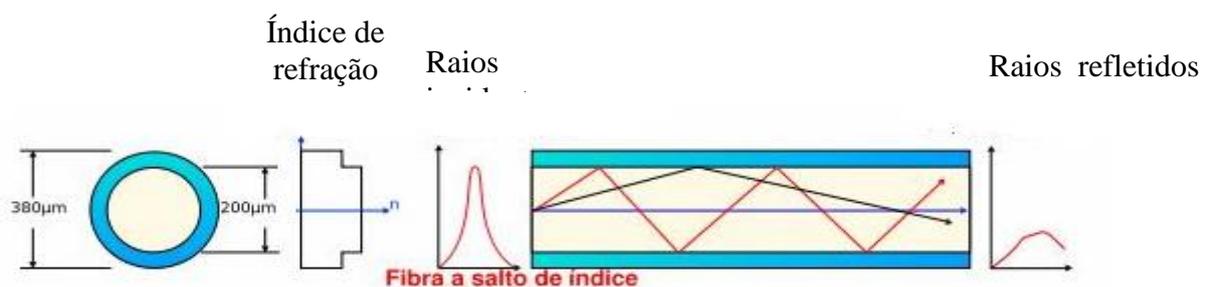


Figura 2. Comportamento dos modos de luz por entre o vidro

Fonte: Site Fibras Ópticas

Os raios de luz ao incidir no vidro podem atravessá-lo de forma direta (modos de luz horizontais). Na figura 2 estes modos então representados em azul.

Outro tipo de dispersão é quando os raios de luz incidem no vidro sob um ângulo menor do que $1,0 \text{ mrad}$, e se propaga no interior do vidro até alcançar a superfície da lâmina, conhecido por modos com angulação abaixo do crítico em relação ao plano da lâmina. À esse fenômeno damos o nome de reflexão. Na figura 2 podemos identificar esse modo como aquela representada pela cor preta.

Outra forma de dispersão dos raios de luz no vidro (modos com angulação crítica em relação ao plano da lâmina) é quando os raios incidentes não apresentam um ângulo crítico, ou seja, não ocorre nem a reflexão nem a dispersão dos raios de luz para o ar. Este modo percorre a lâmina de vidro justamente na interface ar/vidro. Na figura 3 podemos observar a representação deste fenômeno no modo de luz percorrendo a interface de n_1 e n_2 , formando um ângulo de 90° em relação ao eixo y ;

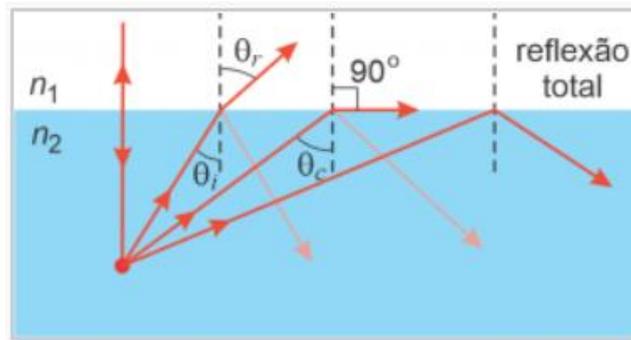


Figura 3. Fenômenos de refração, ângulo crítico e reflexão.
 Fonte: Site Sala de Demonstrações de Física.

E, então, a outra forma de dispersão sofrida pelos modos de luz ou raios de luz, também conhecida por modos com angulação acima do crítico em relação ao plano da lâmina, é quando ocorre o fenômeno da refração, ou seja, a maior parte do modo de luz se dispersará para o ar, assumindo um ângulo diferente daquele quando trafegando dentro do vidro. A menor parte será refletida de volta para o vidro, que por sua vez sofrerá uma nova refração, fazendo com que esse modo atinja o LDR de forma muito pequena ou até mesmo nula. Isto está ilustrado na figura 3, onde vemos o modo de luz com o ângulo θ_r , se dispersando para o ar.

A construção do sensor de chuva proposta nesse trabalho baseia-se nesses fenômenos: a presença de uma gota d'água na superfície da lâmina de vidro, sendo o índice de refração da água (1,33) mais próximo do vidro do que o ar, é equivalente a uma deformação da superfície do vidro. A interface vidro/água tem diferença baixa pela perspectiva do índice de refração, fazendo com que facilmente alguns modos de luz penetrem a gota d'água. A gota de água ao ser depositada na superfície da lâmina de vidro assume um formato similar a de uma semiesfera ou cúpula um formato de cúpula ou semiesfera, permitindo facilmente que alguns modos de luz alcancem a interface água/ar em um ângulo acima do ângulo crítico, fazendo-os dispersarem pelo ar.

Os modos de luz na lâmina de vidro seca, alcançam o receptor (LDR) (figura 5), e a medida que as gotículas de chuva se propagam na superfície do vidro, a quantidade dos modos de luz se dispersando para o ar aumentam (figura 6), diminuindo dessa forma, os raios de luz que chegam ao receptor (LDR). Então, menos luz no LDR acarreta em um aumento no seu valor ôhmico, como observados nas figuras 6 e 7.



Figura 5. (a) Lâmina de vidro com ausência de gotas. (b) Valor ôhmico registrado pelo LDR. Fonte: autores.

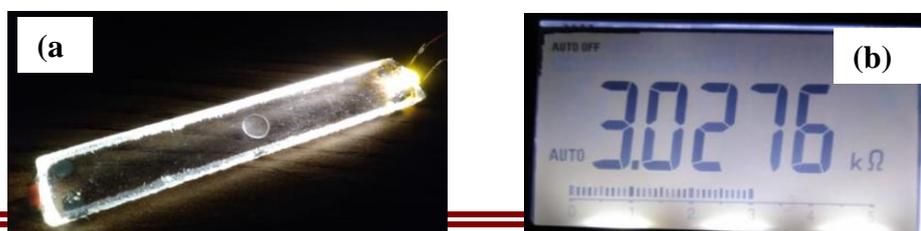


Figura 6. (a) Lâmina de vidro com uma gota de água. (b) Valor ôhmico registrado pelo LDR. Fonte: autores.



Figura 7. (a) Lâmina de vidro com algumas gotas de água. (b) Valor ôhmico registrado pelo LDR. Fonte: autores.

Através das figuras 5, 6 e 7, podemos observar que a sensibilidade, ou seja, a magnitude em escala da mudança registrada pelo LDR em relação ao seu valor absoluto é muito pequena. Então, com o intuito de aprimorar o protótipo, verificamos que ao depositar a gota de água utilizando um conta gotas na lâmina de vidro que estava sendo atravessada pelos modos de luz, parte da luz o penetrava, fazendo-o encandecer-se. Então, fizemos a seguinte pergunta “porque não colocar o LDR no conta-gotas?”.

Obviamente, não utilizamos o conta gotas, pois esse dispositivo foi utilizado para adicionar as gotas de água no experimento. Por isso, em seu lugar, foi adicionada uma segunda lâmina de vidro. Assim, ambas foram dispostas de forma paralela, sendo uma conectada opticamente ao LED e a outra ao LDR. As extremidades onde estão montados estes componentes tem uma distância entre as lâminas um pouco maior (2mm). Já na outra extremidade onde as lâminas de vidro estão livres de componentes (LED e LDR) temos 1 mm de distanciamento, para que as gotas aprisionadas entre as lâminas se concentrem na extremidade mais distante dos componentes eletrônicos, por efeito de capilaridade, como ilustrado na a figura 8.

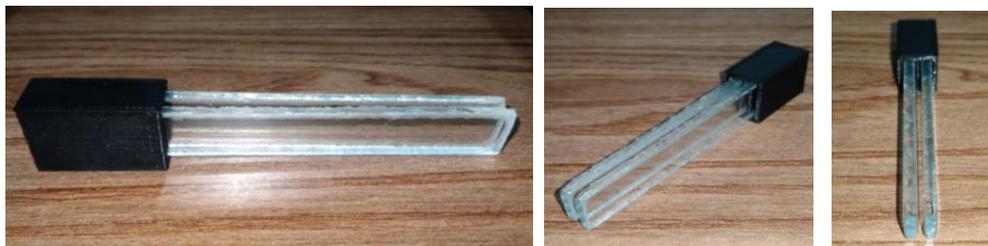


Figura 8. Arranjo experimental com as lâminas paralelas.
Fonte: autores

Com esse novo arranjo, a camada de ar com índice de refração menor do que o do vidro faz com que ambas as lâminas permaneçam conectadas opticamente (figura 9a), na sequencia (figura 9b) mostra o registro do valor ôhmico pelo LDR.

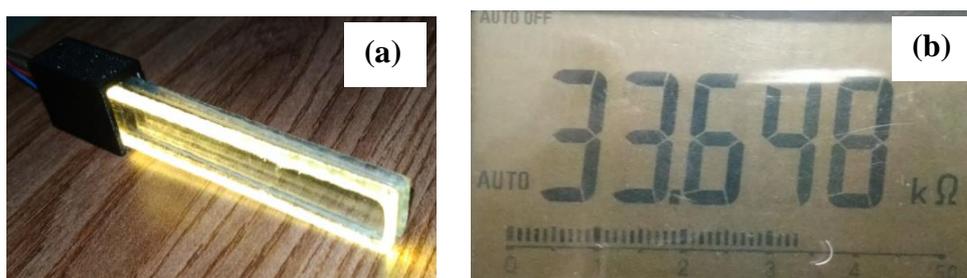


Figura 9. (a) Sensor de chuva livre de água. (b) Valor ôhmico registrado pelo LDR. Fonte: autores.

Quando uma gota de água preenche o espaço entre as lâminas e é armazenada, modos de luz da lâmina emissora conseguem migrar para a lâmina receptora, como se a gota fizesse o papel de uma ponte óptica. Isto ocorre, pois, a água, apresenta um índice de refração mais próxima do vidro do que do ar, “permitindo” que alguns modos de luz que transitavam na lâmina emissora em reflexão (zigzagueando a lâmina), não encontre a interface vidro/ar, e sim vidro/água. Com isso não ocorre a reflexão e sim a refração. Estes modos de luz penetram na água e viajam por ela até alcançar a outra lâmina de vidro, que é a receptora. Com a interface água/vidro novamente, não ocorre a reflexão de certos modos de luz e eles penetram a lâmina de vidro receptora.

Como as lâminas de vidro apresentam impurezas, modos de luz se rebatem para todos os lados, sendo alguns desses capazes de viajar pela extremidade do vidro receptor, nos ângulos corretos, para que através da reflexão na interface vidro/ar alcancem o receptor LDR, como mostra a figura 10a e o valor ôhmico registrado (figura 10b).

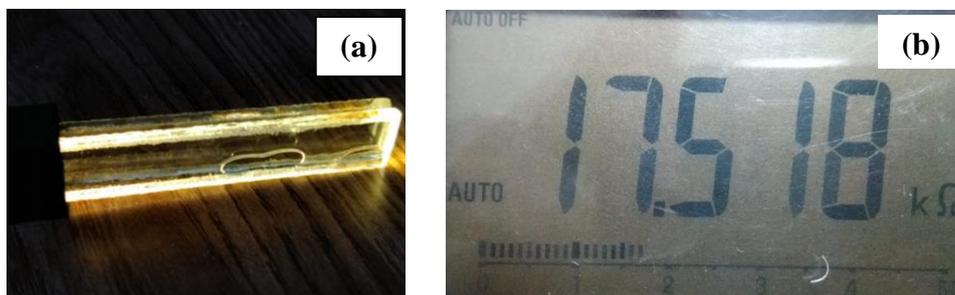


Figura 10. Sensor de chuva com água. (b) Valor ôhmico registrado pelo LDR. Fonte: autores.

A redução no valor ôhmico mostrada na figura 10b indica maior quantidade de luz chegando ao LDR, em concordância com os fundamentos teóricos utilizados no desenvolvimento deste sensor.

3. Operacional

3.1. Programação

Para a automação, leitura e controle do sensor de chuva, desenvolvemos o seguinte um programa em linguagem C++ com as seguintes variáveis do tipo “int” na primeira linha do programa:

- *Período*: esta variável determina qual o período, em milissegundos, de todo o ciclo de loop do programa, que coincidentemente é o período que determina a frequência do emissor (LED). Inicialmente havíamos adotado um ciclo de 1000 ms, e, após alguns teste ajustou-o para 200 ms sem o comprometimento de seu funcionamento;

- *LDRamb*: Neta variável “guardamos” o valor da entrada analógica A0, que lê o valor da queda de tensão correspondente à resposta do *LDR* sob ação apenas da luz ambiente, ou seja, com o emissor desligado;
- *LDR*: realiza a leitura do valor da queda de tensão correspondente à resposta do mesmo *LDR*, agora sob ação da luz ambiente e luz do emissor;
- *difLDR*: atribuímos à esta variável o resultado da subtração entre o *LDR* e o *LDRamb*;
- *Limite*: estabelece-se o valor que a variável *difLDR* precisa transpor para que seja acionada a saída digital 13;

3.3. Descrição de funcionamento do programa

Em *void setup*, estabelecemos a configuração dos terminais do arduino que usamos em nosso projeto:

- *pinMode* (12, *OUTPUT*) – Saída digital de controle do emissor (*LED*);
- *pinMode* (13, *OUTPUT*) – Saída digital que indica a saída de controle para efetuar a ação de fechamento de uma janela, por exemplo;
- *pinMode* (A0, *INPUT*) – Configuração do pino analógico A0 como entrada, para leitura da tensão correspondente à variação do *LDR*;

Em *void loop*, parte funcional do programa, na linha 13 aciona-se a saída 12 para alto, ligando o *LED* emissor.

Na linha 14 coloca-se um atraso de período de 4 ms, equivalente a 50 ms, para na linha 15 atribuir-se o valor do *LDR*.

Na linha 16 insere-se mais um atraso de 50 ms para que na linha 19 comutasse a saída 12 para nível baixo, desligando o *LED* emissor.

Mais uma vez coloca-se um atraso de 50 ms na linha 20, para que na linha 21 atribuíssemos o valor do *LDR* à variável *LDRamb*.

Colocou-se novamente um atraso de 50 ms na linha 22, completando o período de 200 ms.

Na linha 25 subtrai-se de *LDR* (variável que guarda a informação da incidência de luz ambiente + luz do emissor) o valor de *LDRamb* (variável que guarda a informação apenas da incidência de luz ambiente). Desta forma, busca-se anular a interferência da luz ambiente no projeto.

Na linha 27, com o uso da função *se*, compara-se o valor de *difLDR* e do *limite*. Caso *difLDR* for maior que *limite*, a saída digital 13 é acionada para nível alto, ou seja, 5 volts.

Na linha 28, com o uso de outra função *se*, compara-se novamente o valor das variáveis *difLDR* e *limite*, mas nesse caso subtrai-se 20 pontos. Caso o valor de *difLDR* seja inferior que o resultado de *limite* subtraído de 20, a saída digital 13 é acionada para nível baixo, ou seja, 0 volts. O valor 20 utilizado na subtração de *limite* tem a função de gerar uma histerese na saída 13, entre acionada ou desacionada, justamente para evitar uma situação de indeterminação onde a saída 13 poderia mudar de estado várias vezes por segundo.

Sendo está a última linha do programa, o ciclo recomeça na linha 13, onde todas as entradas e saídas utilizadas tem uma varredura de 200 ms, estabelecidas pela variável *período*.

A literatura científica descreve diversos tipos de aplicação de sensoriamento de chuva e automação, utilizando diferentes tipos de sensores e formatos diferentes para automatizar, como por exemplo, uso de sensores sem fio, piezoelétrico, baseado em princípios eletromagnéticos, arduino, automação controlada por programas, aplicativos de celulares, motores de passo. Além disso, é também descrito diversos propósitos para o sensoriamento de chuva: automação residencial, fins didáticos, automação em veículos para acionamento de parabrisas, automação de varal de roupas.

Quando se trata de sensoriamento utilizando sensores sem fio, podemos citar o estudo de Eschner (2011). Ele implementou um sistema de automação residencial utilizando sensores sem fio. A atuação do sistema ocorre de forma automática, utilizando apenas as informações registradas pelos sensores (movimento, temperatura, umidade, luminosidade, entre outros). Para comunicação foi utilizado o protocolo ZigBee, constituindo uma rede de sensores sem fio.

Outro estudo com sensores sem fio é reportado por Dias (2019), ele desenvolveu um sistema de sensores sem fio, para monitoramento de chuvas em terraços verdes, conectados a um servidor disponível na internet para o armazenamento das informações. O sensor de chuva escolhido por Dias (2019) é do tipo resistivo, modelo FC-37 ou YL-83, que apresenta uma placa de 5 por 4 centímetros, com trilhas entrelaçadas que detectam a presença da água assim que os contatos entre as trilhas se fecham.

No sensoriamento piezoelétrico, temos o trabalho desenvolvido por Alexandre (2013): desenvolveu um sensor piezoelétrico para detecção de chuva em veículos automóveis, que segundo ele seria uma solução mais versátil e aplicável em vários pontos do veículo devido as dimensões serem menores, apresentar uma sensibilidade elevada e de fácil aplicação nas superfícies de ensaio. Esses fatores motivaram a escolha deste tipo de equipamento como elemento sensorial. Ele verificou que a utilização deste tipo de sensores permitiu detectar elevados níveis de pluviosidade e em superfícies com considerável capacidade de deformação elástica. Todavia, a sua implementação em automóveis necessita de melhoria dos processos de fixação dos sensores e do condicionamento de sinal utilizados.

Braga (2010), apresentou um protótipo de automação de uma janela, controlada pelo clima através de um sensor de chuva e envio de SMS via módulo GSM. No projeto apresentado por Braga (2010), o controle da janela permite que o manuseio seja manual ou automático. No modo automático o sistema tem como prioridade o sensor de chuva e o envio de mensagem SMS. O sensor, quando molhado, comanda o fechamento da janela. Quando o sensor está seco ocorre o inverso, ou seja, a janela é aberta, e assim imediatamente é enviada uma mensagem SMS para o celular do proprietário. A mensagem consta o seguinte texto “NOTIFICAÇÃO: A janela foi fechada.” ou “NOTIFICAÇÃO: A janela foi aberta.” Por fim, para a movimentação da janela é necessário utilizar um motor DC controlado por um microcontrolador PIC.

Matos (2009), desenvolveu um projeto para automatizar janelas residenciais através de um motor de passo por meio de um microcontrolador, quando acionado por um sensor de chuva. A automação consistiu na abertura de janela na ausência de chuva e no fechamento da mesma com a presença de chuva. Para a o funcionamento do sistema, utilizou um motor de passo do tipo híbrido e bipolar controlado por um microcontrolador modelo AT89S59. O tipo de sensor utilizado foi baseado em princípios elétricos, similar ao sensor produzido por Braga (2010):

constituído por duas placas de alumínio com um espaçamento entre si, assim, ao acionar uma corrente positiva de um lado e negativa do outro nada ocorre, pois a distância existente entre as placas de alumínio não permite que a corrente elétrica atravessasse de um lado para o outro, deixando o circuito aberto. Porém, quando uma gota de chuva incide sobre o intervalo entre as placas, ocorre o contato entre elas através da água, fechando assim o circuito.

Ao contrário do nosso sensor, contruído com base em princípios ópticos, especificamente os fenômenos da refração e da reflexão, o sensor de chuva desenvolvido nos estudos apresentado por Braga (2010) e por Matos (2009) baseou-se nos princípios do eletromagnetismo, como por exemplo a capacitância, sendo então, o sensor comparado a um sensor capacitivo, que tem como definição ser um sistema constituído por dois condutores separados por um isolante. No caso do sensor de chuva desenvolvido por Braga (2010), os dois condutores são os feixes das placas de cobre e o isolante é o ar. Todo material não condutor como o ar é chamado de isolante ou dielétrico. O material entre as placas condutoras é a água quando o sensor de chuva estiver molhado, e quando o sensor estiver seco, o material entre as placas é o ar, sendo assim, só há condução de energia se a tensão aplicada da água for capaz de superar a resistência dielétrica do ar.

Alguns trabalhos utilizam a plataforma arduino para o desenvolvimento do sensor. Parreira et al. (2013) apresentaram um protótipo com conceito de automação, para monitorar o ambiente externo de uma forma simples, através de um sensor e atuador instalado no protótipo, o mesmo consiste na automação de coberturas para comércios e residências utilizando sensor de chuva e a plataforma eletrônica Arduino, com o objetivo de proteger áreas em céu aberto. Sempre que chover, automaticamente a cobertura será acionada e o local será coberto sem necessidade de intervenção humana, mantendo o local protegido e, após a chuva, a cobertura é automaticamente aberta expondo o local que fora escolhido para proteção.

Uma aplicação bastante interessante utilizando sensor de chuva é o trabalho desenvolvido por Costa et al. (2004), desenvolveram um varal automatizado que dispensará o processo de recolhimento manual das roupas caso as condições climáticas para a secagem das mesmas seja desfavorável. O varal é constituído por trilhos acoplados em barras de ferro e controlados por um circuito eletrônico. E é nesse circuito onde coloca-se o sensor de chuva que se encarregará de monitorar o ambiente e caso detecte alguma precipitação excessiva, o mesmo emitirá a informação para o circuito eletrônico que por sua vez acionará os mecanismos de recolhimento dos trilhos, sendo que as roupas estarão estendidas nos trilhos, serão recolhidas junto com o mesmo.

Podemos observar que a ideia do sensoriamento é semelhante a apresentada nesse trabalho, desenvolvimento de um sensor capaz de detectar a presença de gotas de água (chuva) e na sequência o desenvolvimento de um programa para automatizar fechamento de janelas, minimizando assim os danos causados pela chuva aos moradores da residência.

Além desses estudos científicos, também tem estudos que utiliza o sensoriamento para fins didáticos, Catelli e Mesquita, (2019), por exemplo, propuseram a construção e exploração de um dispositivo didático simples, destinado à detecção de gotas de água (chuva), a partir da reflexão interna total da luz; similar ao sensor proposto no presente estudo. O dispositivo construído por Catelli e Mesquita é de construção simples, baixo custo, e pode ser empregado mesmo em ambientes com grande número de alunos. A ideia é mostrar aos alunos a aplicação da óptica no sensoriamento, fazendo um paralelo com os sensores de chuva presentes em alguns modelos de automóveis. Esses sensores são instalados no vidro frontal, que é em geral bastante inclinado, o que faz com que as gotas de chuva escorram, com algumas delas passando sobre o sensor. A frequência de passagem dessas gotas converte-se numa informação para o circuito eletrônico, e esse programará a passagem do limpador de

para-brisa com maior ou menor frequência.

No presente estudo, além de desenvolvermos o sensor, também desenvolvemos o programa para automatizar o fechamento de janelas residenciais, mostrando um trabalho interdisciplinar que compila conceitos da óptica, informática e eletrônica.

4. Considerações Finais

Os princípios ópticos, reflexão e refração, utilizados para construir um sensor de chuva se mostrou eficaz quando ao invés do emprego de apenas uma lâmina, utilizou-se duas lâminas de maneira que a gota de água ao preencher e permanecer armazenada no espaço entre as duas lâminas, os raios de luz da lâmina emissora migram para a lâmina receptora, como se a gota fizesse o papel de uma ponte óptica. Assim, alguns modos de luz na lâmina emissora em reflexão (zigzagueando a lâmina), não encontram a interface vidro/ar, e sim vidro/água. Com isso não ocorre a reflexão e sim a refração. Estes modos de luz penetram na água e viajam por ela até alcançar a outra lâmina de vidro, que é a receptora. Com a interface água/vidro novamente, não ocorre a reflexão de certos modos de luz e eles penetram a lâmina de vidro receptora.

Como as lâminas de vidro apresentam impurezas, modos ou raios de luz se rebatem para todos os lados, sendo alguns desses capazes de viajar pela extremidade do vidro receptor, nos ângulos corretos, para que através da reflexão na interface vidro/ar alcancem o receptor LDR. Então, quanto maior a quantidade de luz que chega ao LDR, o valor ôhmico reduz consideravelmente, que através do programa desenvolvido na linguagem C++ para automatizar o fechamento de janelas residenciais, a saída de controle para efetuar a ação de fechamento de uma janela, é então acionada, atingindo o objetivo desse estudo: sensoriamento de água chuva e automatização residencial, proporcionando maior conforto e segurança aos moradores da residência em caso de chuva.

Referências

ALEXANDRE, A. S. G. P. *Estudo e desenvolvimento de um sensor de chuva piezoelétrico para automóveis*, dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, março, 2013.

BOLZANI, C. A. M. *Residências Inteligentes: um curso de domótica* – 1.ed. – São Paulo. Editora Livraria da Física, 2004.

BRAGA, M. L. O. *Janela automatizada para smart houses com sensor de chuva e aviso por SMS*, Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Computação. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas curso de Engenharia de Computação, Centro Universitário de Brasília – UNICEUB FATECS, DEZ, 2010.

CATELLI, F. & MESQUITA, A. *Construa você mesmo: sensor de chuva*, Revista Brasileira de Ensino de Física Vol. 41, nº 1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sCNkbn3Brhxc4W58dcgjYkq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 01/09/2021.

COSTA, A., FACURI, H., FERREIRA, L., FERREIRA, S. *Varal eletrônico*. 2014: Anais do II Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais, 28-31, julho, Brasília, p. 81-84, 2014. <https://sol.sbc.org.br/index.php/encompif/issue/view/565> acesso em 01/09/2021.

DIAS, D. C. *Sistema de medição de chuvas para pesquisa aplicada em modelos de terraços verdes*. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 83 p., 2019.

ESCHNER, R.H. *Sistema de automação residencial baseado em sensores ZigBee*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Curso da Ciência da Computação, orientador Prof. Dr. José Cesar Netto, Porto Alegre, DEZ, 2011.

FATIGATI, F.L. *Estudo da variação da temperatura da superfície do município de São Paulo no período 1991–2006, com a utilização de imagens termais do satélite LANDSAT-5 TM*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 655-662, 2009. Disponível em <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.12/doc/655-662.pdf>

Fibras ópticas e WDM. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Atenuaoelimitaesdasfibraspticas.html. Acesso em 25/08/2021.

LANZA, L.G. & STAGI, L. *Certified accuracy of rainfall data as a standard requirement in scientific investigations*. Geophysical Research Vol. 9, p. 43-48, 2008.

MATOS, B. M. *Janela residencial automatizada*. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação, Uniceub – Centro Universitário de Brasília Fatecs – Faculdade De Tecnologia E Ciências Sociais Aplicadas. Brasília / DF. 2009.

PARREIRA, R. H. , DE SOUZA , G. B., SOUZA, J. J. dos S., NOGUEIRA, M. *Desenvolvimento de um protótipo para automação de coberturas com sensor de chuva utilizando plataforma microcontroladora arduino*. I World Congress on Systems Engineering and Information Technology, November 17 - 20, p. 200-204. Porto, Portugal, 2013. Disponível em <http://copec.eu/congresses/wcseit2013/proc/works/46.pdf> acesso em 10/08/2021.

PESSÔA, M. S. P.; SPINOLA, M. *Introdução à Automação: para cursos de engenharia e gestão*. Editora Elsevier, 2014.

Sala de Demonstrações de Física, disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/84/7.-Reflexao-Total>. Acesso em 20/08/2021.

SERRA, Y.L., A'HEARN, P., FREITAG, H.P., MCPHADEN M.J. *ATLAS self-siphoning rain gauge error estimates*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology V. 18, no2, p. 1989-2002, 2001.