

DESENVOLVIMENTO DE UMA CÂMARA DE BAIXO CUSTO PARA ENVELHECIMENTO ACELERADO DE POLÍMEROS

DEVELOPMENT OF A LOW COST CAMERA FOR AGING ACCELERATED POLYMERS

Prof. Me. Carlos Henrique Duarte Felisbino

Universidade de Mogi das Cruzes - carlosfelisbino@umc.br

Diego Silva Bezerra

Universidade de Mogi das Cruzes - diegobezerra06@gmail.com

Gustavo Gomes Pereira

Universidade de Mogi das Cruzes - gustavo-gp@hotmail.com

Rafael Quintino Faustino

Universidade de Mogi das Cruzes - rafaelquintinofaustino@gmail.com

Prof. Dr. Lincoln Marcellos

Universidade de São Paulo - Lincoln.marcellos@pad.lsi.usp.br

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Beingolea Garay

Universidade de Mogi das Cruzes Universidade de São Paulo - jorgegaray@umc.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é descrever o projeto, construção e testes de uma câmara de baixo custo para envelhecimento acelerado de polímeros, que atenda um ciclo de baixa e outro de alta radiação ultravioleta sobre os corpos de prova, de acordo com a norma ASTM G154. A metodologia baseou-se no levantamento das normas relacionadas aos ensaios de

seu desempenho. O controle da câmara é realizado por um sistema eletrônico baseado em Arduino e utiliza componentes disponíveis no mercado, que atendam as especificações do projeto. O equipamento atendeu aos requisitos previstos, tanto em relação às especificações, quanto ao baixo custo e integrará os laboratórios da Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), campus Villa-Lobos, para realização de ensaios de materiais poliméricos.

Palavras-chave: Degradação de polímeros; envelhecimento acelerado; radiação ultravioleta; ASTM G154; Arduino.

Abstract

The objective of this paper is to describe the design, construction and testing of a low cost chamber for accelerated aging of polymers that meets a low and high ultraviolet radiation cycle on the test specimens in accordance with ASTM G154. The methodology was based on the survey of the standards related to the tests of accelerated aging of polymers and of the existing equipment, providing the subsidies for the development of the project, which was validated by the construction and evaluation of its performance. The camera control is performed by an Arduino-based electronic system and uses commercially available components that meet project specifications. The equipment met the requirements for both the specifications and the low cost and will integrate the laboratories of the University of Mogi das Cruzes (UMC), Villa-Lobos campus, to carry out tests on polymer materials.

Keywords: Degradation of polymers; accelerated aging; ultraviolet radiation; ASTM G154; Arduino

Introdução

Diversos tipos de materiais entram em processo de degradação, seja por fadiga, esforço mecânico, cisalhamento, corrosão e radiação solar. De modo geral, os polímeros plásticos são bastante resistentes à degradação no meio ambiente, inúmeros modelos levam mais de cem anos para se decompor totalmente, porém o estudo do processo de degradação ao longo de sua vida útil é determinante em suas aplicações

Peças de veículos, componentes de motores, materiais de construção, válvulas e sensores, por exemplo, acompanham a grande tendência que ocorre hoje no mercado, em que polímeros devido ao seu baixo custo, facilidade de modelagem, produção e avanços tecnológicos, estão substituindo cada vez mais os componentes que antes eram praticamente 100% de metal, vidro ou madeira.

Como a radiação solar é um fator extremamente influente para ocorrer a degradação de polímeros, simular testes que se aproximam deste fenômeno é importante para aprimorar as propriedades do produto, não apenas o tornando mais duradouro e competitivo no mercado como também para aumentar a segurança de trabalhadores que, por exemplo, lidam com máquinas, veículos e equipamentos de proteção.

Baseando-se nas pesquisas e principalmente nos requisitos da norma ASTM G154 (*American Society for Testing and Materials*), que diz a respeito às condições gerais que uma câmara de envelhecimento de materiais não metálicos precisa atender, este trabalho propõe a construção de uma câmara de baixo custo com auxílio de componentes eletrônicos para assegurar um ciclo comum e outro de alta radiação voltada para revestimentos não metálicos e polímeros.

2. Polímeros

Polímeros são macromoléculas, ou seja, grandes moléculas formadas por uma repetição de muitas unidades químicas. Sua massa atômica varia de centenas a milhares de unidades. De uma forma geral, os polímeros são divididos em classes diferentes como termoplásticos, termofixos, plásticos de engenharia e elastômeros (PAOLI, 2008).

Polímeros termoplásticos possuem as características de poderem ser remoldados diversas vezes através de um processo de aquecimento. Polímeros termofixos devido ao seu tratamento, ou seja, processo de cura, não podem ser remoldados como os termoplásticos. Plásticos de engenharia se encaixam na classificação de matérias que podem ser moldados a frio, como a usinagem. Os elastômeros são polímeros que sofrem deformações até determinado ponto de acordo com a sua capacidade, sem se romperem (alta elasticidade), como o próprio nome sugere. Para alcançar essa característica o material precisa ser submetido a um processo químico, como a vulcanização (PAOLI, 2008).

Os egípcios e os romanos, na antiguidade, foram os primeiros a ter contato com materiais resinosos e graxa extraída de fontes naturais. As finalidades eram diversas como: uso de carimbo, vedação de vasilhames e colagem de documentos. (CANAVEROLO, 2010).

Exploradores levaram o látex extraído da árvore para a Europa, porém acabaram percebendo que a borracha “não pulava” ao ser arremessado ao chão. Acreditava-se que a borracha estaria “viva” por ter sido retirada de uma árvore e em um determinado tempo após a remoção, a mesma viria a “morrer”. Esta concepção deu origem aos termos de “envelhecimento” e “fadiga”, conhecidos até hoje. O extrato da coagulação e secagem do látex, desta árvore, apresentou alta flexibilidade e elasticidade, características que eram desconhecidos até então. O produto, sem nome até então, ganhou o nome de Borracha devido à capacidade de apagar marcas de escrita a lápis (PAOLI, 2008; CANAVEROLO, 2010).

A utilização da borracha ficou bastante restrita, até Charles Goodyear, em 1839, descobrir o processo de Vulcanização (nome dado em honra ao Deus Vulcano – das profundezas e do fogo), processo feito principalmente à base de enxofre em que proporciona características de não pegajosidade e durabilidade extremamente comuns nos dias de hoje (CANAVEROLO, 2010).

Em 1846, Christian Schönbien, químico alemão, tratou o algodão com ácido nítrico (HNO_3), dando origem a nitrocelulose, o primeiro polímero semissintético. Em 1862, Alexander Parker, dominou completamente a técnica, chegando a patentear a nitrocelulose como cera Parquentina (nome derivado de Parker). Todas as descobertas foram realizadas por acaso, até a primeira Guerra Mundial, por meio de métodos empíricos, ou seja, a partir de experimentos e observações (PAOLI, 2008; CANAVEROLO, 2010).

Em 1929, Wallace H. Carothers, químico norte-americano, formalizou as reações de condensação que deram origem aos poliésteres e às poliamidas, batizando esta nova classe de *Náilon*, como é conhecida até hoje. Em 1938, Roy Planket observou um pó branco que continha dentro de um cilindro contendo gás tetrafluoreto de etileno, descobrindo ocasionalmente o Teflon, material bastante utilizado como antiaderente (CANAVEROLO, 2010).

Por conta da segunda Guerra Mundial (1939-1945), ocorreram grandes avanços no desenvolvimento de polímeros sintéticos. A borracha sintética (SBR), por exemplo,

foi desenvolvida na Alemanha, devido ao fechamento de fronteiras com os países fornecedores de borracha natural (CANAVEROLO, 2010).

Desde então, os avanços tecnológicos estão progredindo cada vez mais, recentemente cientistas da IBM descobriram duas novas classes de polímeros: o Titan, que contém um terço da capacidade de tensão do aço, podendo ser triplicada ao misturar com nanotubos de carbono. A segunda classe denominada Hydro, compõe-se de um material extremamente flexível e um composto com 70% de líquido. O reaproveitamento desses materiais foi a grande marca dessas novas classes, devido à capacidade de regressar ao estado original, característica muito importante a materiais expostos às intempéries. (VELLOSO, 2014).

Devido ao seu baixo custo e a facilidade de utilização comparada a materiais metálicos, vidro e madeira, os polímeros são utilizados cada vez mais em diversas áreas. Porém, esses materiais devem ser revestidos por foto estabilizadores que funcionam como “bloqueador solar”, impedindo que a radiação afete o material, garantindo assim vida útil e segurança aceitável para o empregado (ANDRADY *et al.*, 1998).

3. Degradação de Polímeros

Diversos fenômenos naturais contribuem para o processo de degradação. As características desses efeitos vão desde a descoloração superficial até a perda de suas propriedades mecânicas, como elasticidade e resistência ao impacto. O processo de degradação ocorre por diferentes processos: quebra da ligação de sua cadeia principal ou lateral, reações intramoleculares, oxidação, aumento da temperatura, radiação fotoquímica, cisalhamento mecânico e radiação de alta energia. As características de um polímero degradado são inúmeras: descoloração (amarelecimento), superfície quebradiça, endurecimento superficial, modificações na superfície do material e decaimento de suas propriedades mecânicas e gerais (ANDRADY *et al.*, 1998; SANTANA, 2014;).

3.1 Resistência Térmica

Polímeros em geral possuem uma faixa de temperatura de utilização baixa, na média entre 100 °C e 200 °C. Durante o aquecimento, seja por período curto ou longo, se a energia fornecida for maior que o polímero suporta, a ligação será quebrada. A condutividade térmica está diretamente relacionada às interações inter e intramoleculares, ou seja, a troca de calor (eficiente) favorece a degradação térmica, já uma troca ineficiente causa degradação superficial do material. Outro tópico importante é o entrelaçamento das cadeias. Um material que tende a ter um baixo grau de cristalinidade possui um maior grau de envelhecimento, ou seja, gera restrição aos movimentos macromoleculares e uma menor dissipação de energia térmica, elevando a possibilidade de quebra de suas ligações (PAOLI, 2008).

Em geral, os materiais a serem testados devem perder 10% de suas propriedades, expostos a uma temperatura máxima, de uso, de 8 a 12 meses. O ambiente precisa ter sistemas de aquecimento e ventilação. Um método rápido e eficaz para medir a perda de massa é o TGA (Termogravimetria), que monitora a perda de massa em uma temperatura constante (PAOLI, 2008).

3.2 Termogravimetria

A termogravimetria é resultado da junção de uma balança de alta precisão com um forno, onde é possível controlar a temperatura com uma precisão constante de 0,5 °C \pm . O método geralmente consiste em medir a temperatura de início de perda de massa (Ti). Caso ocorra mais de um processo de perda no mesmo material, será acrescentado outro valor de Ti, gerando uma curva na forma de patamares. Os materiais menos estáveis possuem Ti mais baixo (SANTANA, 2014).

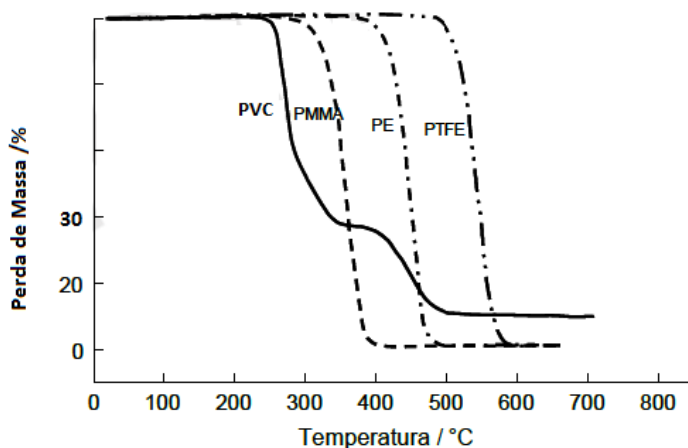


Figura 1. Comparação das curvas de perda de massa em função da temperatura para diversas poliolefinas. PVC = poli (cloreto de vinila), PMMA = poli (metacrilato de metila), PE= polietileno e PTFE = poli (tetrafluoretileno), medidas em atmosfera inerte.

Fonte: PAOLI, 2008.

3.3 Degradação Fotoquímica

Consiste em um fenômeno ocorrendo normalmente por incidência de luz solar, intervalo UV de 200 a 400 nm e faixa visível de 400 a 700 nm. A molécula do material necessita passar para um estado eletrônico excitado, ou seja, a distribuição de elétrons de sua camada torna-se diferente, provocando alterações na sua propriedade, ou seja, se o material não absorver a energia em forma de excitação eletrônica, não originará um efeito fotoquímico. A luz solar é considerada a mais importante para o efeito fotoquímico, porém, as lâmpadas fluorescentes, devido ao seu plasma contido no gás, também emitem radiação UV intensa, na faixa de 314 a 166 nm (PAOLI, 2008).

Existem dois tipos de sistemas cromóforos de absorção de luz, os intrínsecos: que sofrem as transições eletrônicas dentro dos limites da faixa de comprimento da luz solar ou luz artificial, e os extrínsecos: que absorvem luz na região do espectro solar através de defeitos ou contaminações (PAOLI, 2008).

Por conta do efeito fotoquímico, somente a superfície do material se deteriora, portanto realizam-se testes através de infravermelho ou pela observação de alterações na superfície da estrutura, através da análise de amostras extremamente finas (SANTANA, 2014).

4. Radiação Ultravioleta

A radiação solar possui diversos comprimentos de ondas diferentes, um deles em especial é a radiação ultravioleta, emite radiação abaixo de 400 nanômetros (nm), luz visível variando de 400 a 760nm e infravermelho iniciando a partir de 760nm.

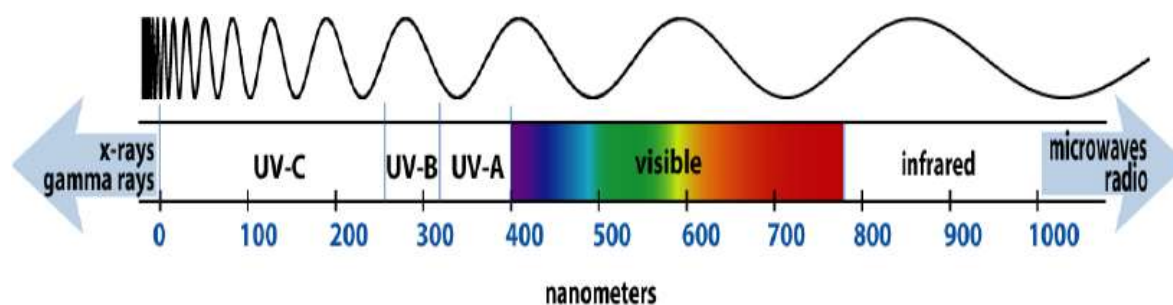


Figura 2 . Distribuição de comprimento de onda de Radiações.

Fonte: The Forces of Weathering (Q-LAB 2011).

A radiação ultravioleta é dividida em três categorias: Radiação UVA: Corresponde a mais de 90% da radiação solar, possui o maior comprimento de onda e uma baixa quantidade de energia UV, provoca também pigmentação próxima à superfície da pele, tendo como principais efeitos o ressecamento e o envelhecimento precoce. Radiação UVB: Possui um comprimento de onda menor e uma quantidade de energia maior que a radiação UVA, causando pigmentação profunda, ressecamento, envelhecimento precoce e câncer de pele. Radiação UVC: Tem o maior potencial de dano à pele, porém não atravessa a camada de ozônio. Todos os tipos de radiação podem causar efeitos fotoquímicos positivos e negativos em polímeros (SGARBI *et al.*, 2007).

4.1 Lâmpada Ultravioleta

Os diferentes tipos de radiações podem causar efeitos fotoquímicos positivos e negativos em polímeros. Por conta deste fato, uma série de lâmpadas podem ser usadas na câmara, conforme a norma e procedimento do material. As radiações podem variar em função de diversos fatores, como: modelo da lâmpada; produtor/fabricante; idade da lâmpada; distância da lâmpada em relação ao material estudado e temperatura/umidade da câmara (ASTM G154, 2006).

De acordo com as pesquisas nesta seção, pelo fato de simular o efeito mais próximo da radiação solar em um ambiente externo, foram escolhidas as lâmpadas Philips Actinic BL com potência de 40W e comprimento de onda de 340nm.

5. Materiais e Métodos

Para assegurar a execução e controle dos ciclos indicados pela norma na câmara, utilizou-se um microcontrolador compatível ao Arduino Uno, a “Black Board”, desenvolvida e fornecida pela empresa Robocore e fabricada no Brasil. A placa consiste

em uma plataforma de computação *open-source*, que contém seu próprio ambiente de desenvolvimento, sendo possível compilar e editar programas em linguagem “C” e determinar “entrada” ou “saída” de sinais analógicos e digitais. O programa desenvolvido para a câmara de envelhecimento acelerado de polímeros permite o gerenciamento do sistema, com base nos sinais recebidos dos sensores de umidade e temperatura e do tempo obtido pelo próprio microcontrolador, acionar e desacionar atuadores (coolers, ebulidor e resistência).

Para interpretar os valores de temperatura e umidade, foi instalado o sensor DHT22 (*Digital-output relative humidity & temperature sensor/module*), modelo AM2303, calibração realizada pelo próprio fabricante: Aosong Electronics Co. Ltd. e conferida em testes de laboratório.

Para introduzir a umidade e temperatura na câmara, foi instalado um aquecedor de água produzido pela Indústria de Aparelhos Elétricos Cherubino Ltda. Por conta da norma ASTM G154 exigir um aquecimento a seco, ou seja, sem umidade, foi instalada uma resistência de chocadeira na lateral da câmara. Caso a temperatura ultrapasse o especificado pela norma, *coolers* instalados nas laterais serão acionados, assim que a temperatura se estabilizar os mesmos serão desacionados. Todos esses componentes citados acima serão acionados e desacionados mediante um módulo relé, instalado entre sua alimentação e o microcontrolador baseado em uma placa com relé e todo seu circuito de driver incluso.

5.1 Esquema Elétrico

Com o uso do *software* da Fritzing foi elaborado o esquema elétrico ilustrado da câmara de envelhecimento de polímeros.

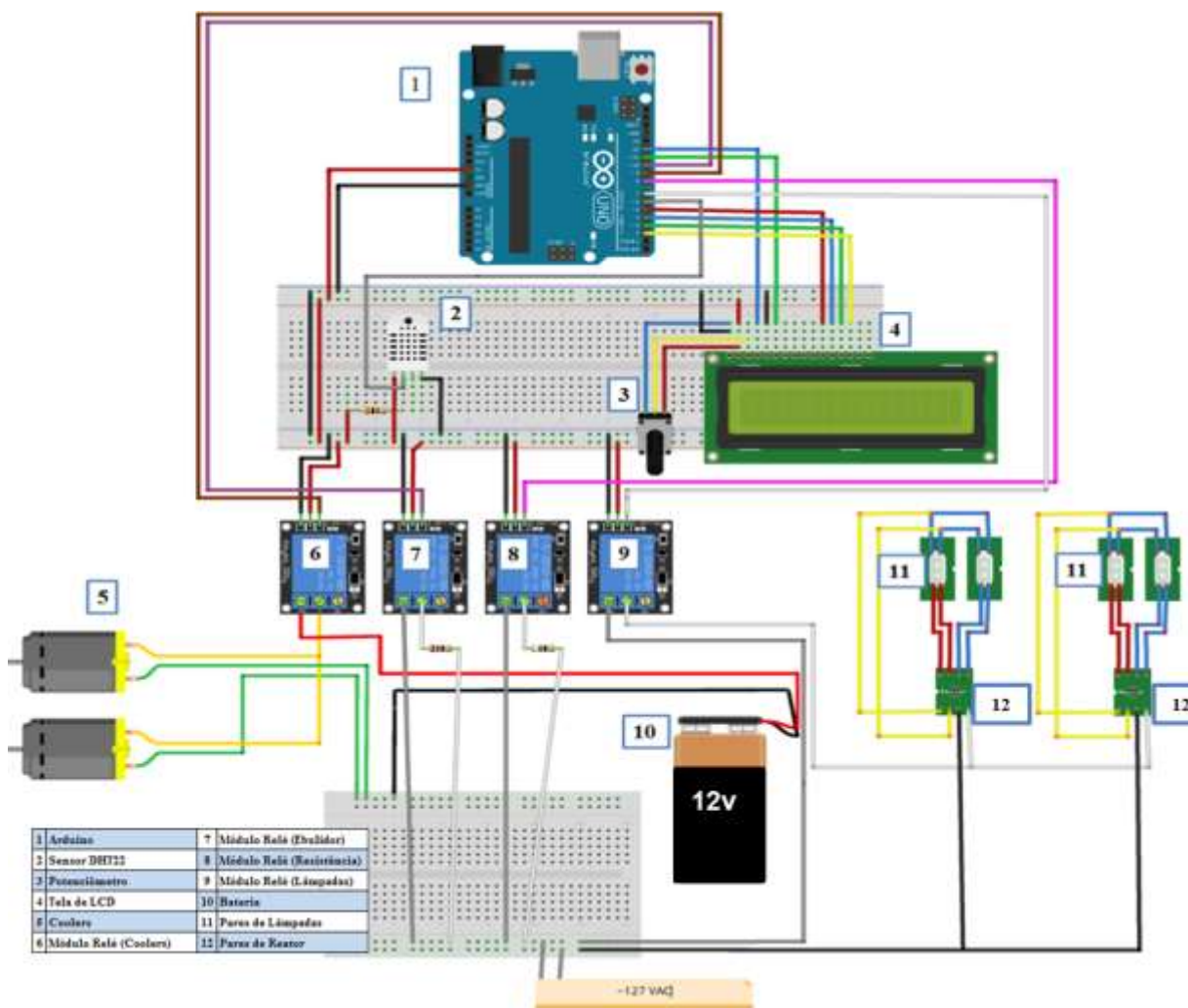


Figura 3. Esquema de ligação ilustrado dos componentes.

5.2 Distância entre Lâmpadas e Corpo de Prova

O sensor UV GUVA-S12SD foi utilizado para ajustar a posição das lâmpadas em relação ao corpo de prova de forma a atender os requisitos de intensidade previstos na norma, que são de $0,77 \text{ w/m}^2/\text{nm}$ para o ciclo de baixa radiação (Ciclo A) e de $1,35 \text{ w/m}^2/\text{nm}$ para o de alta radiação (Ciclo B).

Na descrição do sensor obtemos o dado que $1 \mu\text{A}$ equivale à 90 W/m^2 . Com isso podemos realizar a conversão para a unidade da norma: Ciclo A: $0,77 \text{ w/m}^2/\text{nm} = 262 \text{ w/m}^2$; Ciclo B: $1,35 \text{ w/m}^2/\text{nm} = 460 \text{ w/m}^2$.

Com estes dados é possível determinar qual o valor da corrente necessária para emitir a radiação ideal: Ciclo A $= 2,9 \times 10^{-6} \text{ A}$; Ciclo B $= 5,1 \times 10^{-6} \text{ A}$. O valor da corrente de cada ciclo, relacionado com outro dado da descrição ($51 \times 10^{-9} \text{ A} = 13 \times 10^{-3} \text{ V}$),

possibilita determinar o valor de tensão: Ciclo A = 742 mV ; Ciclo B = 1302 mV. Com os valores de *mV* para cada ciclo, o próximo passo é realizar a interpolação para determinar os valores analógicos (Output) de acordo com a figura abaixo:

Ciclo A: Valor Analógico = 151; Ciclo B: Valor Analógico = 267.

UV Index	0	1	2	3	4	5
Vout(mV)	<50	227	318	408	503	606
Analog Value	<10	46	65	83	103	124
UV Index	6	7	8	9	10	11 ⁺
Vout(mV)	696	795	881	976	1079	1170+
Analog Value	142	162	180	200	221	240

Figura 4. Sensor GUVA-S12SD: relação de Índice UV, Tensão e Valores Analógicos.
 Fonte: Cutedigi Technologies, Inc. < <http://www.cutedigi.com/blog/use-uv-sensor-with-arduino/> >.
 Acessado em: 25 Outubro 2017.

Foi desenvolvido um programa utilizando o mesmo microcontrolador conectado ao sensor de UV para ler os valores analógicos definidos e assim assegurar a distância ideal dos pares de lâmpadas UVA e corpos de prova de acordo com a norma ASTM G154.

Ciclo A: Valor Analógico = 151 (± 3), Distância = 32,5 mm.

Ciclo B: Valor Analógico = 267 (± 3), Distância = 2 mm.

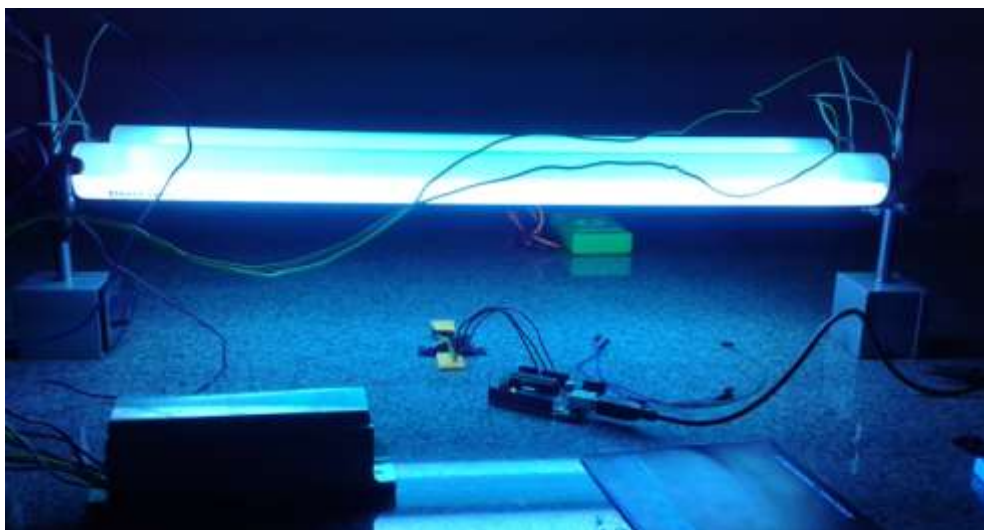
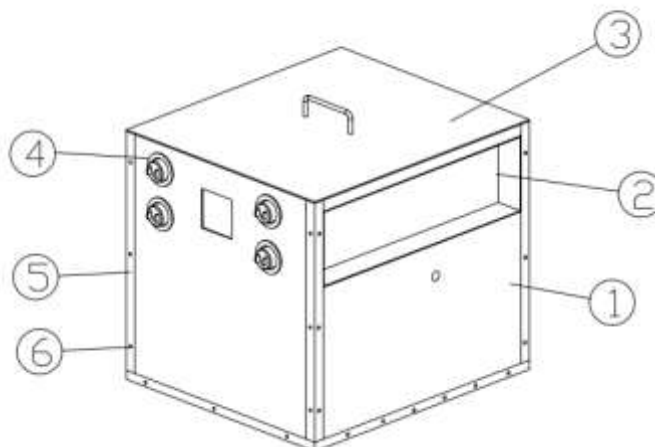


Figura 5. Aferição da distância entre lâmpadas e corpo de prova.



Ciclo A (Distância 32,5 mm)		Ciclo B (Distância 2 mm)	
Medição	Valor (Analog Value)	Medição	Valor (Analog Value)
1	267	1	151
2	267	2	150
3	267	3	150
4	265	4	150
5	264	5	151
6	265	6	151
7	264	7	152
8	267	8	152
9	267	9	153
10	266	10	151
Média	265,9	Média	151,1

Tabela 1. Valores obtidos na aferição das lâmpadas.

5.3 Projeto e Construção da Câmara

Para desenvolvimento deste projeto foram utilizados os *softwares* AutoCAD para o detalhamento de desenhos 2D e Pro/ENGINEER para a modelagem em 3D da câmara.

Sua construção constitui-se de seis chapas de aço galvanizado com espessura de 0.5 mm, medindo respectivamente 510 x 506 mm, 570 x 506 mm e 510 x 570 mm. Cantoneiras de 45 e 90° foram rebitadas para assegurar base e sustentação.

Item	Descrição
1	Corpo
2	Porta da Câmara
3	Tampa da Câmara
4	Apoio das Lâmpadas
5	Cantoneira
6	Rebites
7	Lâmpadas UV

Figura 6 – Projeto da Câmara

Utilizando arco de serra, serra de fita e furadeira de bancada foram efetuados os devidos cortes conforme as imagens a abaixo. Para sustentar as lâmpadas nas laterais, foram realizados quatro furos em cada chapa de 55 mm de diâmetro, um furo em cada lateral de 80 x 80 mm para posicionamento do *cooler* de refrigeração, um furo de 19 mm de diâmetro para a entrada de água na câmara e outros dois furos de 4 mm de diâmetro para o sensor DHT22. Um fixador foi instalado na tampa para facilitar o manuseio.

A porta da câmara é fixada com dobradiças e tem capacidade para testar dez corpos de provas simultaneamente, sendo fixados na porta por uma chapa menor de 25,4 x 521 mm com parafusos e porcas borboletas.

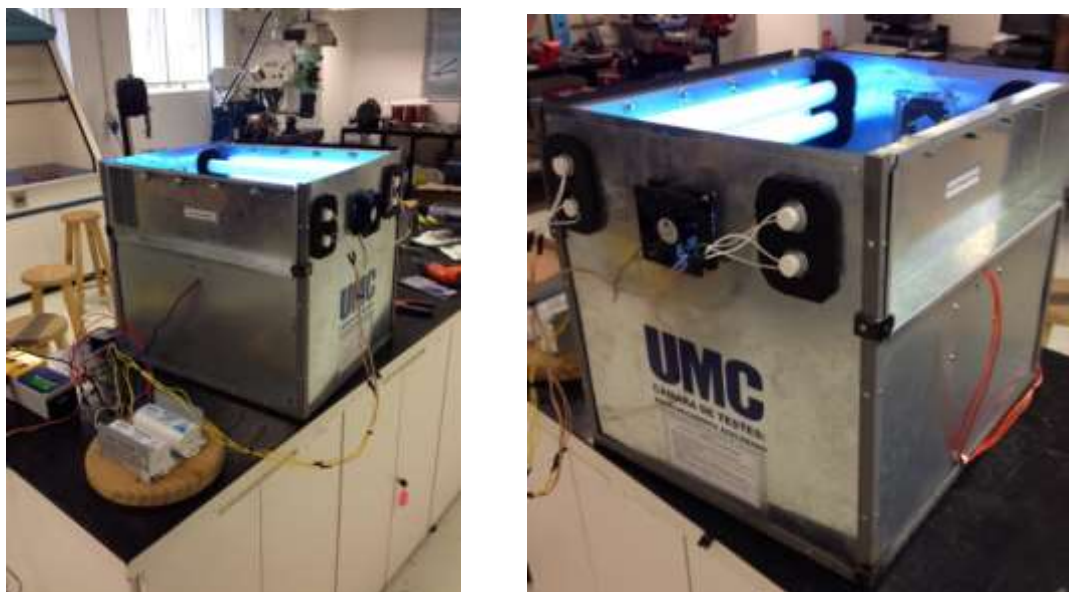


Figura 7 – Construção do equipamento

6. Resultados e Discussão

Com o protótipo construído, iniciaram-se os testes de funcionamento e verificação do comportamento especificado do conjunto. O uso do microcontrolador Arduino possibilitou a construção do sistema de controle, permitindo a execução dos ciclos 1 e 6, especificados na norma ASTM G154.

No equipamento desenvolvido, está definido o acionamento das quatro lâmpadas UVA-340, através de reatores e relés, que alternam ciclos de 8 horas ligadas e 4 horas desligadas. O funcionamento das lâmpadas e o controle do tempo atenderam plenamente a norma estabelecida, especialmente pelo microcontrolador escolhido trabalhar com precisão de até microssegundos.

Para o controle de temperatura e umidade, foi instalado um ebulidor imerso em um reservatório de água, sendo o mesmo acionado por relé para o aumento, simultâneo desses dois parâmetros. Durante as 4 horas em que as lâmpadas ficam desligadas, a umidade interna alcançou 100%, resultando na condensação prevista na norma. A resistência instalada para aumento da temperatura interna, atuou de forma adequada em conjunto com os dois *coolers* permitindo o adequado controle de temperatura e umidade, quando alcançadas as temperaturas máximas preestabelecidas na programação, automaticamente o microcontrolador aciona os *coolers*, e ao atingir as temperaturas mínimas os *coolers* são desligados. Os sensores de temperatura e umidade funcionaram de forma adequada, aferindo as medidas dentro das tolerâncias previstas na norma, com variação máxima de 1 °C.

7. Considerações Finais

A câmara de envelhecimento de materiais não metálicos foi construída com baixo custo conforme indicado neste trabalho e atende os requisitos da norma ASTM G154 que trata das considerações e procedimentos de exposição destes materiais ao intemperismo acelerado. Desta forma pode ser utilizada em instituições de ensino e laboratório de pesquisa para o estudo da influência do intemperismo nos polímeros.

Além da construção do equipamento, os componentes eletrônicos escolhidos mostraram-se adequados à aplicação e auxiliaram no controle das principais variáveis

da câmara: temperatura, umidade e ciclo de alta e baixa radiação nas amostras de revestimentos não metálicos e polímeros.

A escolha do microcontrolador Arduino foi capaz de assegurar o gerenciamento eletrônico da câmara junto com os demais componentes utilizados. O projeto foi capaz de simular as condições de intemperismo acelerado, alternando ciclos de quatro e oito horas consecutivas, com estabelecido pela norma.

Com base nesse trabalho, acredita-se ser possível o desenvolvimento de pesquisas futuras que ampliem a capacidade do equipamento, implemente outros ciclos de simulação e adicione novas características que simulem as ações do clima, como por exemplo, o jato de spray d'água, que é um requisito para atender os ciclos de choques térmicos e erosões,

Referências Bibliográficas

ANDRADY, A. L. *et al.* Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46 (1998) 96–103.

ASTM G154. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. 2006. Disponível em: < <http://www.astm.org/Standards/G154.htm> >. Acessado em: 15 junho 2017.

CANEVAROLO Júnior, Sebastião V.. *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber, 2010. Ed. 3, revisada e ampliada, 2010.

PAOLI, Marco-Aurelio de. *Degradação e Estabilização de Polímeros*. 2ª Versão Online (revisada). Chemkeys, 2008. Disponível em: < <http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf> >. Acesso em: 15 ago. 2017.

PATRICK, J. Brennan. Improved UV Light Source Enhances Correlation in Accelerated Weathering. Technical Bulletin LU-8003. Q-LAB CORPORATION 2012.

Q-LAB CORPORATION. A Choice of Lamps for the QUV Accelerated Weathering Tester. Technical Bulletin LU-8160. 2012.

Q-LAB CORPORATION. Sunlight, Weathering & Light Stability Testing. Technical Bulletin LU-0822. 2011.

SANTANA, Ruth M. C.. Degradação e Estabilização de Polímeros. Disponível em:<http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~ruth.santana/degradacao_estabilizacao/Cap%C3%ADtulo%201.html>. Acessado em: 12 set. 2017.

SGARBI, F. C. *et al.* Radiação Ultravioleta e Carcinogênese. Universidade Estadual Paulista, julho 2007.

VELLOSO, Felipe. IBM descobre polímeros recicláveis e com capacidade de regeneração. Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/quimica/54681-ibm-descobre-polimeros-reciclaveis-capacidade-regeneracao.htm> >. Acesso em: 18 set 2017.