

Reprodução do Experimento de Herschel para Detecção de Infravermelho

Lucas Guesser Targino da Silva

29 de Novembro de 2016

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Experimento Original	4
2.1	Investigação do Poder de Aquecimento	4
2.2	Investigação do Poder de Iluminação	6
2.3	Confirmação da Existência dos Raios Invisíveis	6
3	Experimento que eu quero realizar	11
3.1	Material Necessário	11
3.2	Esquema de Montagem	12
3.3	Comentários sobre a Montagem	13
3.4	Dados que Serão Obtidos e Programação	13
3.4.1	Fontes de Erro	13
3.5	Programa em Pseudocódigo	14
4	Resultado dos Experimentos	15
4.1	Primeiro dia	15
4.1.1	Violeta	18
4.1.2	Verde/Amarelo	20
4.1.3	Infravermelho	24
4.2	Segundo Dia	26
4.2.1	Violeta	30
4.2.2	Verde e Amarelo	32
4.2.3	Infravermelho	34
4.3	Resumindo...	37
5	Análise e Comparação com o Original	38
5.1	Comparação com o Original	38
5.2	Análise	42
6	Conclusão	43
6.1	Resultados do Experimento	43
6.2	Recomendações para as Próximas Vezes	43

7	Referências	45
A	Códigos	46
A.1	Programa utilizado no Arduino	46
A.2	Script Matlab	49

Capítulo 1

Introdução

William Herschel foi um astrônomo e compositor alemão naturalizado inglês. Ficou famoso por descobertas na astronomia, das quais se destacam a descoberta do planeta Urano, suas duas luas e de duas luas do planeta Saturno.

Em suas observações, Herschel verificou que as lentes dos telescópios aqueciam quando expostas por um certo tempo. Ficou interessado no assunto e resolveu analisar o que chamou de poder de aquecimento e o poder de iluminação da luz. Tais investigações o levaram à descoberta do infravermelho, tema do presente trabalho.

Nele, será abordado o experimento original e uma reprodução, comparando os resultados. Durante o desenvolvimento do trabalho, haverá discussões da física associada ao assunto, visando melhor compreender os resultados dos experimentos.

Capítulo 2

Experimento Original

Herschel realizou vários experimentos até chegar ao infravermelho.

2.1 Investigação do Poder de Aquecimento

No primeiro experimento, Herschel queria investigar o poder de aquecimento das diversas cores que compõem a luz. Para tal, ele utilizou três termômetros com o bulbo escurecido, planos inclinados para apoio e um aparato que permitia que apenas a luz de uma cor atingisse o termômetro. Também utilizou um prisma, colocado em uma janela a uma distância adequada. O controle da cor era feito girando o prisma. Os termômetros eram utilizados de forma a ficarem dois para controle, na sombra da placa, e um na luz da cor a se investigar. Tal aparato pode ser visto na figura 2.1.

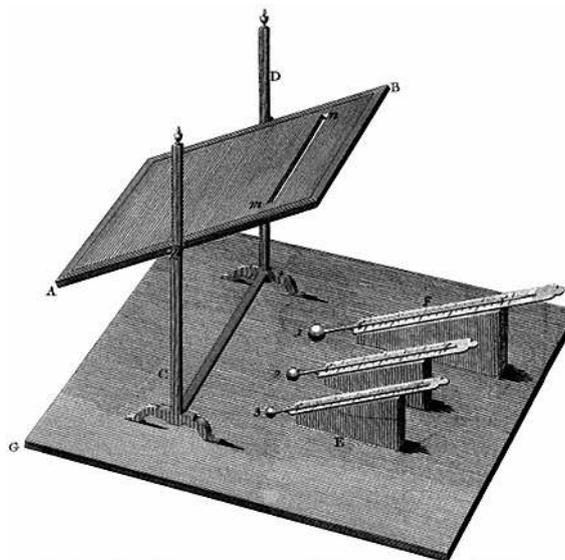


Figura 2.1: Aparato utilizado para investigar o poder de aquecimento das cores. Fonte (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

Realizando o experimento, Herschel obteve os seguintes resultados¹:

Cor	ΔT
vermelho	7
verde	3 1/4
violeta	2

Tabela 2.1: Resultados de Herschel ao investigar o poder de aquecimento das cores. Fonte: (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

Disso, Herschel concluiu o seguinte:

“A quantidade total de calor radiante contida em um raio de sol, se esta diferente refrangibilidade² não existisse, deveria, inevitavelmente, cair sobre um espaço igual à área do prisma; e se calor radiante não fosse totalmente refrangível ele cairia sobre um espaço igual, que corresponde ao espaço onde a sombra do prisma, quando coberta, pode ser vista. Mas, nenhum destes eventos ocorrendo, é evidente que o calor radiante está sujeito às leis de refração, e também àquelas que tratam da diferente refrangibilidade da luz. Pode isto nos levar a supor que calor radiante consiste de partículas em um certo intervalo de momentum, e que tal intervalo pode se estender um pouco além de cada lado de refrangibilidade, além daquele da luz?”

¹Imagino que ele tenha utilizado termômetros em °F visto que ele estava na Inglaterra e utilizava como unidade de medida de comprimento polegadas.

²Aqui, refrangibilidade pode ser entendido como quanto o espectro sofre refração (ângulo de saída na lei de Snell). Por exemplo, o azul é mais refrangível do que o vermelho.

É notável no texto acima a distinção entre luz e calor como entes diferentes, já levando-o a uma ideia de raios infravermelho.

2.2 Investigação do Poder de Iluminação

Herschel investigou também o poder de iluminação das diversas cores que compõem a luz. Para isso, ele realizou experimentos com o seguinte equipamento:

“Coloquei um objeto que tinha muitas partes pequenas sob um microscópio duplo; e, tendo colocado um prisma na janela, de forma que uma imagem estacionária colorida do Sol atingisse a mesa onde o microscópio estava, fiz com que os diferentes raios coloridos caíssem sucessivamente sobre o objeto, movendo o microscópio para o interior da sua luz”.

Durante os experimentos, ele observou diversos objetos e adicionou diferentes substâncias a fim de melhor investigar as propriedades de iluminação das diversas cores. Porém, ele não utilizou nenhum equipamento de medição para quantificar o poder de iluminação.

Ao fim, ele chegou às seguintes conclusões:

- Os raios **vermelhos** possuem pouco poder de iluminação.
- Os raios laranja possuem poder de iluminação maior do que o vermelho.
- Os raios amarelos possuem alto poder de iluminação.
- O máximo de iluminação ocorre entre o verde claro e o amarelo brilhante.
- A partir do verde escuro, o poder de iluminação diminui.
- O poder de iluminação do azul é comparável com o do vermelho.
- O poder de iluminação do violeta é menor do que o do vermelho.

Tais resultados foram utilizados para fazer um gráfico do poder de iluminação de cada cor. Ele será apresentado posteriormente, após a discussão de mais um experimento.

2.3 Confirmação da Existência dos Raios Invisíveis

O aparato utilizado no experimento que confirmou a existência dos raios invisíveis, por nós chamado infravermelho, pode ser visto na figura 2.2.

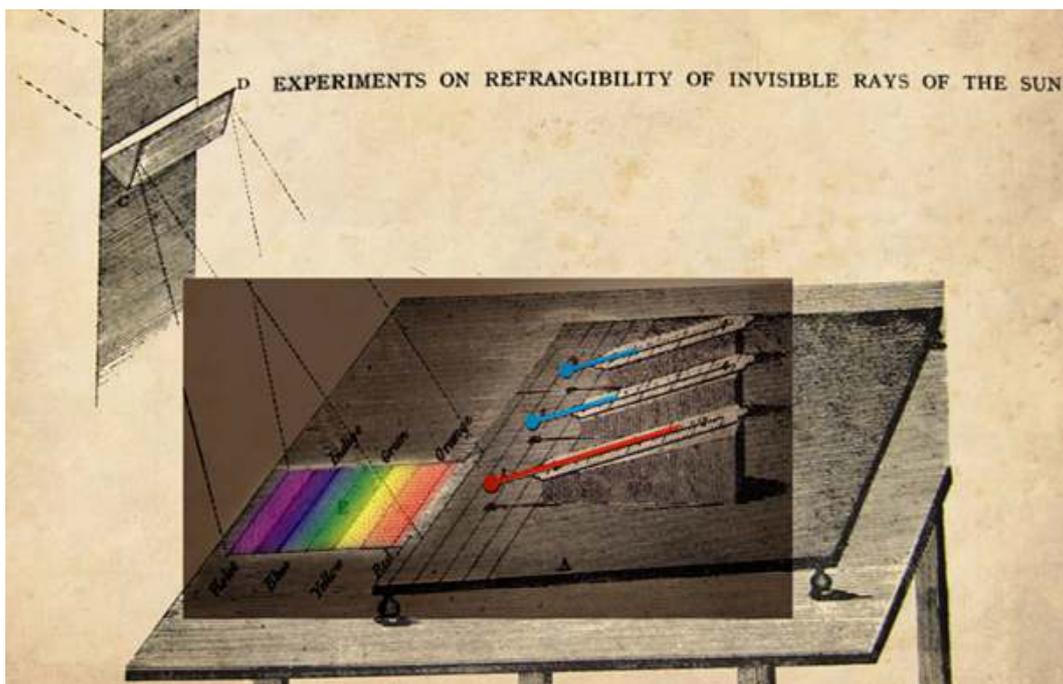


Figura 2.2: Aparato utilizado para investigar a existência dos raios invisíveis. Retirado de: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/InfraredAstronomy/ch01.html>

O equipamento consiste em um suporte com quatro pernas. Sobre ele ficam, em planos inclinados, os mesmos termômetros utilizados no experimento da figura 2.1. Também foi colocada uma folha sobre o suporte. Nela, foram desenhadas linhas paralelas à borda e três perpendiculares a estas. O objetivo era colocar o centro das sombras dos bulbos na interseção de tais linhas, como mostra a figura 2.3.

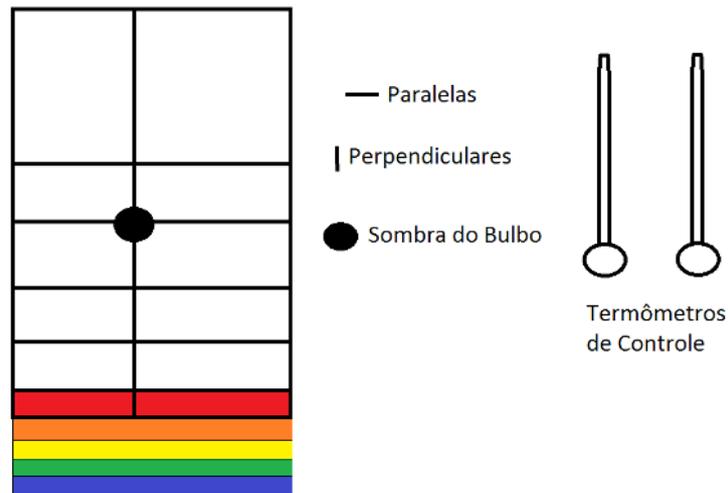


Figura 2.3: Esquema de linhas da figura 2.2 com os termômetros de controle ao lado. Imagem elaborada pelo autor.

O prisma foi colocado na janela de forma que nenhuma cor avançasse além da primeira linha, isto é, o vermelho chegava em seu limite na primeira linha, como mostra a figura 2.3.

Ele consiste em apoios para os mesmos termômetros utilizados no experimento da figura 2.1, um prisma que decompõe a luz e a projeta sobre uma folha. Mantendo dois termômetros como referência (temperatura da sala), Herschel variou a posição de um dos termômetros e anotou a variação de temperatura, como mostra³ a tabela 2.2.

Localização	ΔT
linha 1	6 1/2
linha 3	5 1/4
linha 4	3 1/8

Tabela 2.2: Resultados para verificar a existência dos raios invisíveis. Fonte: (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

Diante de tais resultados, Herschel tirou as seguintes conclusões:

1. Há raios vindo do Sol que são menos refrangíveis do que aqueles que afetam a visão e que possuem alto poder de aquecimento e nenhum de iluminar.
2. O máximo poder de aquecimento está entre os raios invisíveis e a menos de meio polegada além do vermelho visível (considerando a projeção utilizada).

³Não estou colocando aqui os resultados completos, apenas parte para que possamos entender o que foi feito e ter noção dos resultados obtidos.

Ele também procurou a localização onde ocorria o máximo de aquecimento, como mostra a tabela 2.3

Localização do Bulbo	ΔT
Centro do vermelho	7
1/2 bulbo no centro do vermelho	8
Totalmente fora do vermelho	9
1/2 polegada além do vermelho	8 3/4

Tabela 2.3: Investigação da ocalização do máximo de aquecimento. Fonte: (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

Por fim, Herschel colocou seus resultados em um gráfico de poder (de iluminação ou aquecimento) pela cor (ordenadas pela refrangibilidade), figura 2.4.

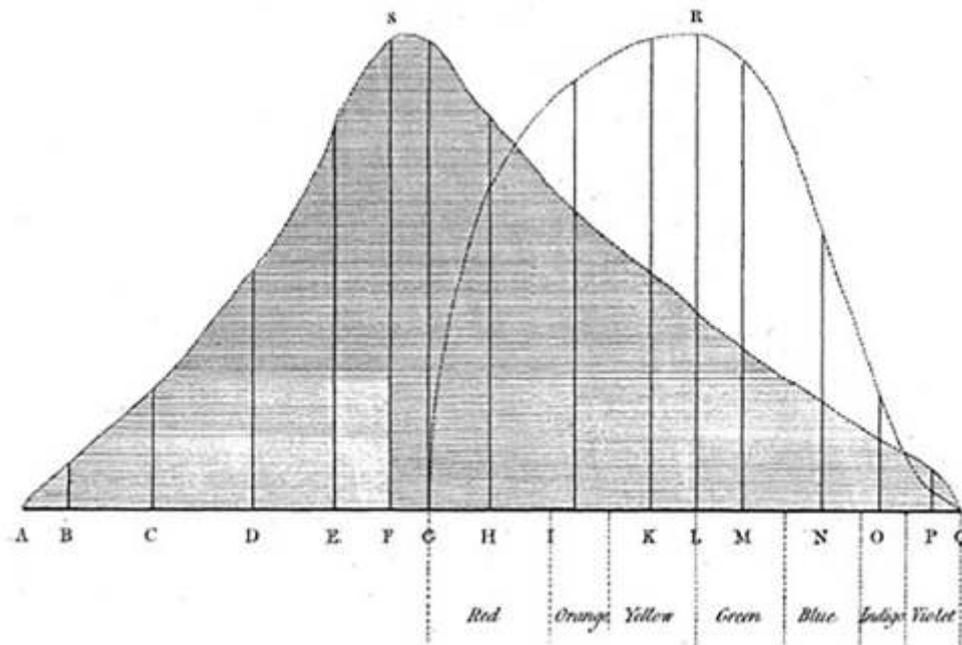


Figura 2.4: Gráfico do poder de iluminação / poder de aquecimento pela cor (ordenadas em ordem crescente de refrangibilidade). ASQA representa o poder de aquecimento e GRQR o de iluminação. Fonte: (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

O gráfico da figura 2.4 merece alguns comentários:

- É possível ver que o máximo de aquecimento ocorre fora do visível, mostrando a existência de um espectro da luz que não é perceptível aos olhos de menor refrangibilidade.

- “(...) *A partir dos últimos experimentos estou suficientemente persuadido que qualquer raio que incida além do violeta não poderia ter qualquer poder perceptível, seja de iluminar ou aquecer (...)*”
- Não foi utilizado nenhum instrumento para quantificar o poder de iluminação, o que deixa o gráfico com pouco sentido. Para o caso do poder de aquecimento, foi utilizada a temperatura, mas mesmo Herschel reconheceu a imprecisão tanto de equipamento quanto metodológica em vários experimentos.
- O pico de poder luminoso possui o mesmo “valor” (não foram utilizadas unidades no gráfico) do pico de poder de aquecimento. Nada indica que isso é verdade, o gráfico só foi feito assim por vontade de Herschel.

Sobre as conclusões obtidas por Herschel, temos, segundo (OLIVEIRA; SILVA, 2014): “As conclusões a que Herschel chega após seus experimentos de transmissão e espalhamento dos raios de calor são completamente diferentes das aceitas atualmente. Herschel aceita que seria possível ter luz visível que absolutamente não esquenta, mesmo quando concentrada por lentes, e que também poderíamos ter, com a mesma refrangibilidade, raios de calor que mesmo concentrados não dão nenhuma luz. Ou seja, Herschel concluiu que poderia existir só luz ou só calor com o mesmo desvio por um prisma, o que sabemos que não pode ocorrer.”

Capítulo 3

Experimento que eu quero realizar

Neste capítulo, vou descrever como o experimento será feito. Ele foi baseado no experimento descrito em [2].

3.1 Material Necessário

Material	Quantidade
Caixa de papelão	1
Folha A4 branca	2
Prisma	1
Tesoura	1
Arduino	1
Sensor de temperatura	2
Computador carregado	1
Protoboard	1
Jumper macho-macho	8
Jumper macho-fêmea	6
Cabo de energia arduino	1
Invólucro preto	1
Rolo pequeno de fita adesiva	1

Tabela 3.1: materiais necessários.

3.2 Esquema de Montagem

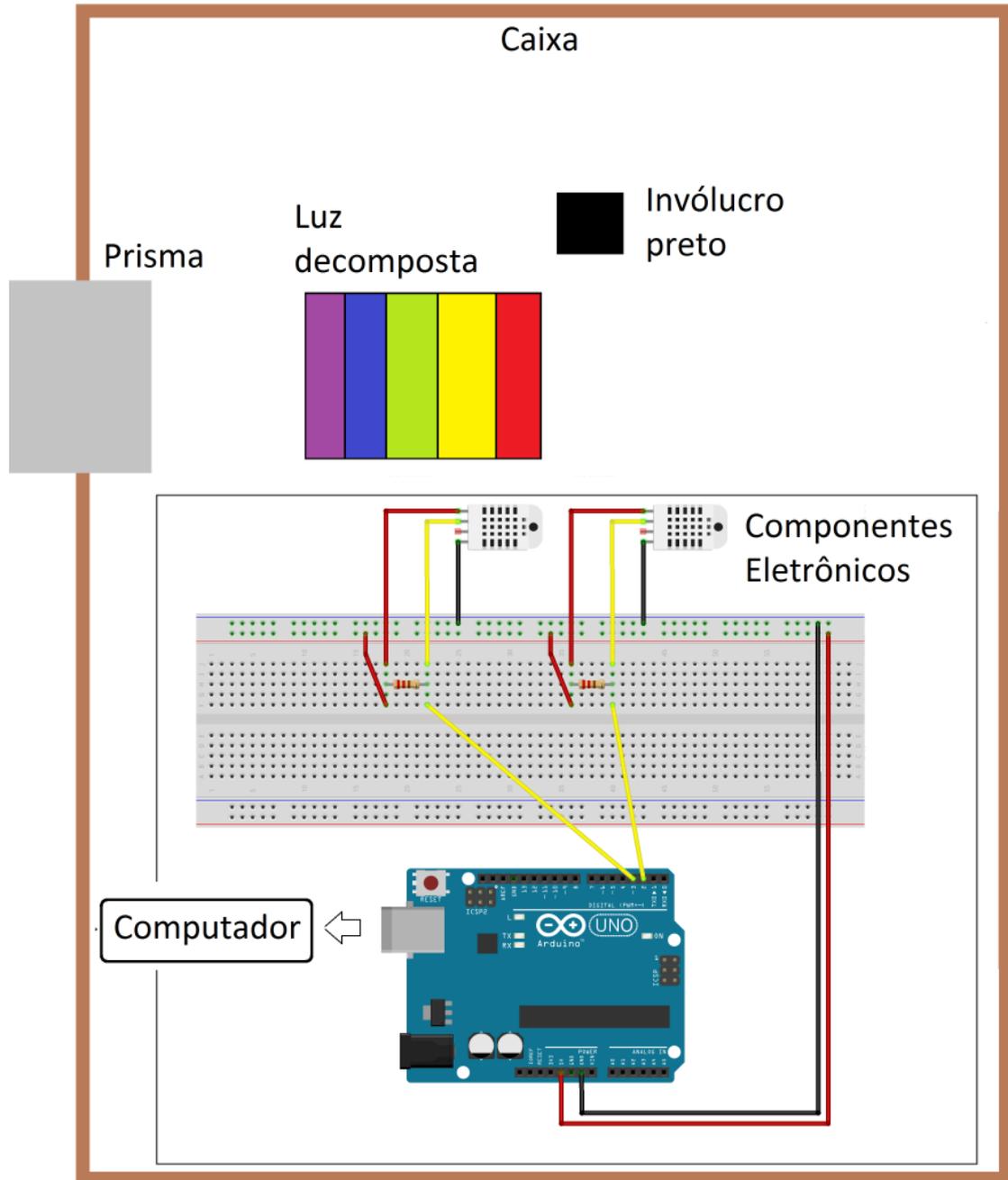


Figura 3.1: esquema da montagem do equipamento. Imagem elaborada pelo autor.

3.3 Comentários sobre a Montagem

A montagem está suficientemente clara na imagem, de forma que vou colocar apenas alguns comentários aqui.

- O medidor de temperatura será colocado dentro do invólucro preto e depois tal conjunto será fixado com fita adesiva na cor a ser analisada.
- Um dos medidores deve ficar na sombra, longe da luz decomposta, para controle.
- O prisma será fixado por pressão. O tamanho do espaço para colocar o prisma deve ser levemente menor do que o prisma. Caso necessário, utilize fita adesiva (a tesoura serve para isso).
- Precisamos dos jumpers macho-fêmea para conectar os medidores à protoboard.
- Precisamos dos jumpers macho-macho para conectar a protoboard no arduino.

3.4 Dados que Serão Obtidos e Programação

Na realização do experimento, quero obter os seguintes dados:

Dado	Motivo	Como Obter o Dado	Forma de apresentação
Temperatura em função do tempo em várias cores.	Curiosidade minha. Na prática esse dado é inútil.	Colocar os dois medidores na sombra e deixar a temperatura estabilizar (monitorar com o computador). Feito isso, colocar um no infravermelho e manter o outro na sombra (para controle da temperatura ambiente).	Um único gráfico com a temperatura em função do tempo. Colocar as linhas com as respectivas cores.
Temperatura máxima atingida em cada cor.	Esse é o resultado principal.	Pegar tal informação dos dados anteriormente obtidos. Fazer uma tabela de temperatura por cor.	Gráfico de temperatura máxima por cor, ordenadas por frequência. Tabela de temperatura máxima atingida por cor.

Tabela 3.2: Dados a serem obtidos com o experimento.

3.4.1 Fontes de Erro

- Os medidores podem estar descalibrados ou não mostrar a mesma temperatura quando na sombra. Isso é um problema. Para contornar isso, como me interessam

apenas variações de temperatura, vou sempre utilizar um medidor na sombra e outro na luz. Com o medidor da sombra, controlarei a variação da temperatura ambiente enquanto que com o medidor que fica na luz, controlarei o aumento da temperatura devido à radiação.

- O invólucro preto pode modificar a leitura do medidor quando os dois estiverem em contato. Para ter certeza que isso não vai acontecer, vou, antes de ir para o experimento, testar, colocar o medidor, esperar estabilizar e então colocar o invólucro (na mesma temperatura e com pouca luz por perto). Se nada ocorrer, ótimo. Se modificar a leitura, terei que mudar a forma com que o experimento será feito.
- O medidor utilizado é um *DHT11*. Segundo o fornecedor, o seu erro máximo é de $\pm 2.0^\circ\text{C}$. Será necessário considerar essa margem de erro na análise dos resultados.
- A resolução do medidor *DHT11* é de 1°C . Isso significa que todos os gráficos gerados terão a forma de escadas, possuirão degraus.

3.5 Programa em Pseudocódigo

Vou colocar aqui como o programa deve funcionar, um algoritmo, numa linguagem que humanos normais entendem.

1. Espera que o usuário insira o nome de uma cor. Armazena numa variável. Tal nome será utilizado para criar um arquivo.
2. Inicializa um arquivo no computador para armazenar os dados. Criarei um arquivo para ser lido pelo matlab, isto é, um “*cor.m*” que terá um vetor de quatro colunas, organizado da seguinte forma:

$$\left[\begin{array}{cccc} | & | & | & | \\ timeColor & temperatureColor & timeShadow & temperatureShadow \\ | & | & | & | \end{array} \right] \quad (3.1)$$

3. A cada $2s$ faz uma medição da temperatura que o medidor que está na luz indica e uma que o medidor que está na sombra indica. Armazena os dados no arquivo e também os mostra na tela do computador.
4. O arduino fará isso até que o usuário (aquele que executa o experimento) digite a letra “*q*”. Quando isso ocorre, ele finaliza e fecha o arquivo e pede para o usuário inserir uma cor (volta para 1).

Também terei um script para matlab que fará toda a geração de gráficos. Ele entrará em cada arquivo de saída do arduino, carregará todos os vetores (cada vetor terão o nome de uma cor) e gerará os gráficos. Os arquivos de saída aqui serão arquivos “.png”.

Capítulo 4

Resultado dos Experimentos

Os experimentos foram realizados em dois dias. Eu queria fazer em apenas um, porém, no primeiro dia, um pouco antes de finalizar, uma nuvem bloqueou o sol!

4.1 Primeiro dia

Primeiro dia, 19 de novembro de 2016.

O primeiro passo foi montar o equipamento necessário para o experimento. A ideia foi a mesma apresentada na figura 3.1, com algumas modificações para se adequar às condições locais. A montagem pode ser vista nas figuras 4.1 e 4.2.



Figura 4.1: Material utilizado e esquema da montagem no primeiro dia. Foto tirada pelo autor.



Figura 4.2: Posicionamento do experimento no primeiro dia. Por causa do vento, foi necessário colocar pesos para que a caixa não se deslocasse. Foto tirada pelo autor.

O pedaço de pano preto foi substituído por um envelope de papel pintado de preto. É equivalente porém torna-se mais estável.

Foi feito um experimento para verificar se colocar tal invólucro no medidor causava alguma variação de leitura. Ao ser colocado, todas as leituras continuavam iguais, de forma que a sua única influência no experimento é sofrer aquecimento quando a radiação incide sobre ele (que é o que queremos).

4.1.1 Violeta



Figura 4.3: Medição utilizando violeta, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.



Figura 4.4: Medição utilizando violeta, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.

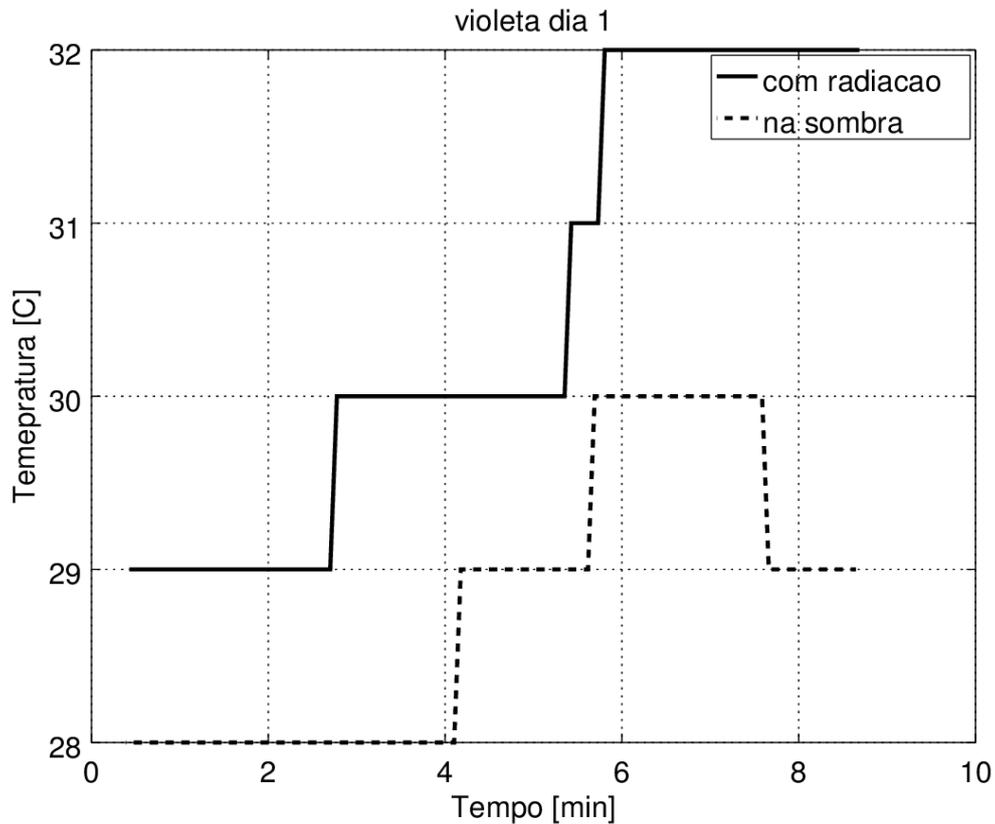


Figura 4.5: Resultado da medição utilizando violeta, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.

O dois medidores foram mantidos inicialmente na sombra (sem o invólucro) para que suas temperaturas estabilizassem. Eles, nas mesmas condições, não apresentam as mesmas temperaturas, como podemos ver no intervalo de 0 a 2 minutos. Porém, a diferença de 1°C é aceitável segundo o erro máximo do dispositivo.

Por volta dos dois minutos foi colocado o invólucro num dos medidores, sendo esse também exposto à luz violeta. Até o fim do experimento, o medidor que esteve na sombra teve um aumento de 1 a 2°C , enquanto que o que foi exposto à luz violeta teve um aumento de 3°C .

Vemos, assim, que a luz violeta causa um aumento de 2°C ¹.

4.1.2 Verde/Amarelo

Devido ao tamanho do medidor e do prisma, não foi possível separar medições para cada uma dessas cores.

¹Vale salientar que tal aumento é nas condições do experimento. Se fosse utilizado outro sistema em outras condições, exposto à luz violeta, o resultado poderia ser bem diferente.



Figura 4.6: Medição utilizando verde e amarelo, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.



Figura 4.7: Medição utilizando verde e amarelo, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.

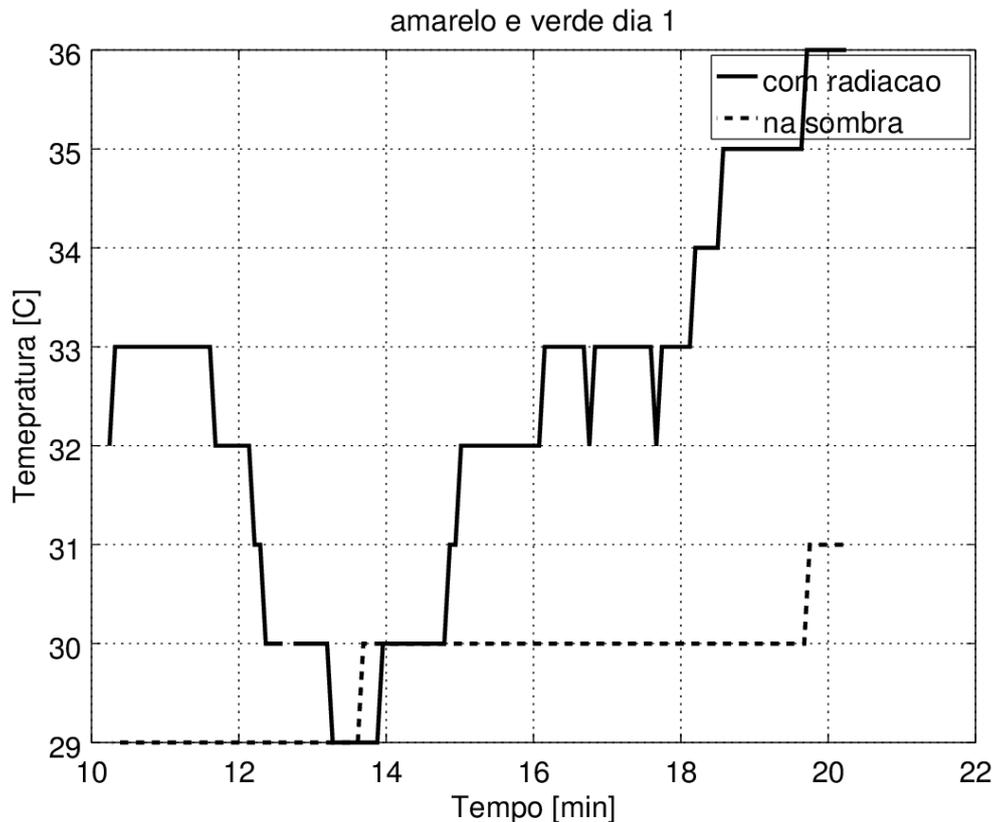


Figura 4.8: Resultado da medição utilizando verde e amarelo, primeiro dia.

O tempo está de 10 a 21 minutos pois foi feito após o experimento com o violeta ² É possível ver que as temperaturas iniciais são as mesmas que as finais o experimento com o violeta.

Novamente, os medidores foram deixados na sombra, sem o invólucro preto, até que as temperaturas ficassem próximas e estabilizassem, isto é, até que os dois atingissem a temperatura ambiente. Tal processo ocorreu entre os instantes 10 e 14 minutos.

Aos 14 minutos, foi colocado o invólucro preto em um dos medidores e esse foi exposto à luz verde e amarela (pegou um pouco de azul também pois o medidor é grande).

Podemos ver o processo de aquecimento a partir dos 15 minutos (é necessário um certo tempo para colocar o invólucro, posicionar o medidor e arrumar o posicionamento do prisma).

Temos um aumento de temperatura final em relação à ambiente de 5°C, mais do que o obtido com o violeta.

²Eu poderia ter arrumado no momento em que o gráfico foi gerado, mas preferi não fazê-lo para me lembrar de programar melhor da próxima vez.



Figura 4.10: Medição utilizando infravermelho, primeiro dia. Foto tirada pelo autor.

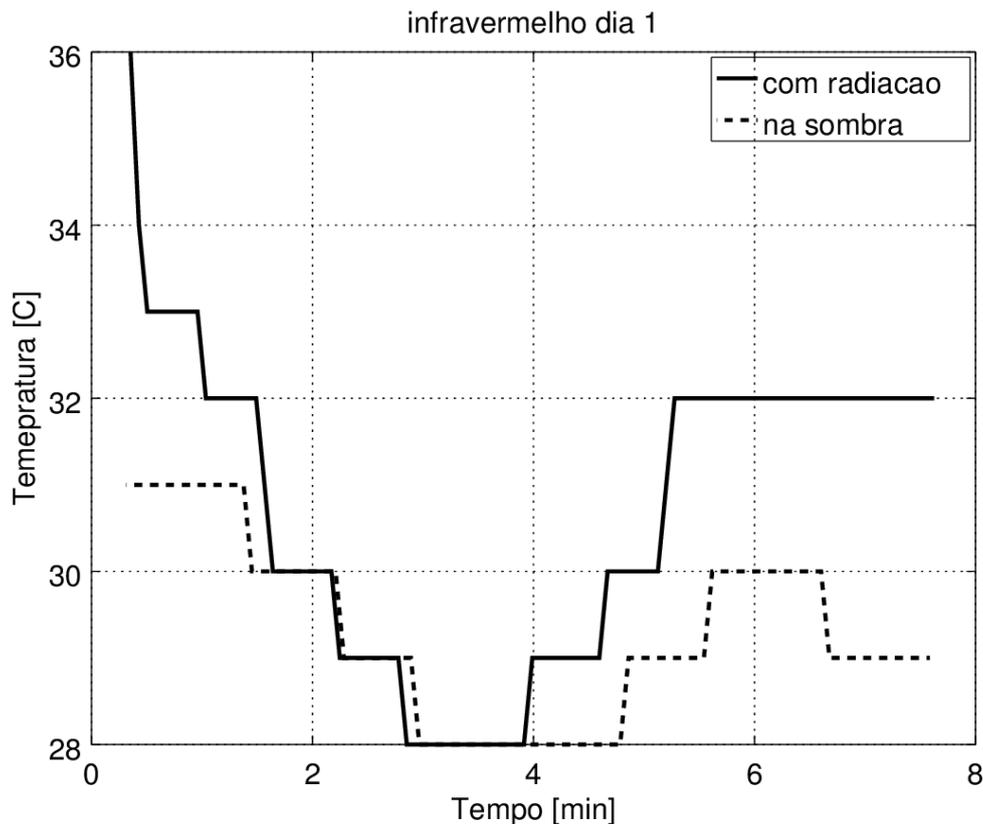


Figura 4.11: Resultado da medição utilizando infravermelho, primeiro dia.

Novamente, as temperaturas iniciais são iguais às finais do experimento anterior (mas o tempo está corrigido). Também deixaram-se ambos os medidores na sombra até que suas temperaturas estabilizassem e ficassem igual à temperatura ambiente, como pode ser visto entre os instantes de 0 a 4 minutos. Após esse tempo, foi colocado o invólucro preto e exposto à radiação infravermelho.

Podemos ver a temperatura aumentar entre os instantes de 4 a 6 minutos e ficar estável a partir disso. Pomo pode ser visto na figura 4.10, uma nuvem bloqueou o sol e impediu que o experimento continuasse.

Podemos ver que houve um aumento de temperatura no local onde não há luz!

4.2 Segundo Dia

Segundo dia, 20 de novembro de 2016.

Os experimentos foram realizados da mesma forma que no primeiro dia, com algumas variações de posicionamento para se adequar às condições locais.



Figura 4.12: Condições climáticas no segundo dia de experimento. Céu limpo e horário próximo ao meio dia. Foto tirada pelo autor.



Figura 4.13: Posicionamento do experimento no segundo dia. Não havia vento mas foi necessário deixar o computador numa posição que maximizasse a ventilação do *cooler* (que fica embaixo). Foto tirada pelo autor.²⁸

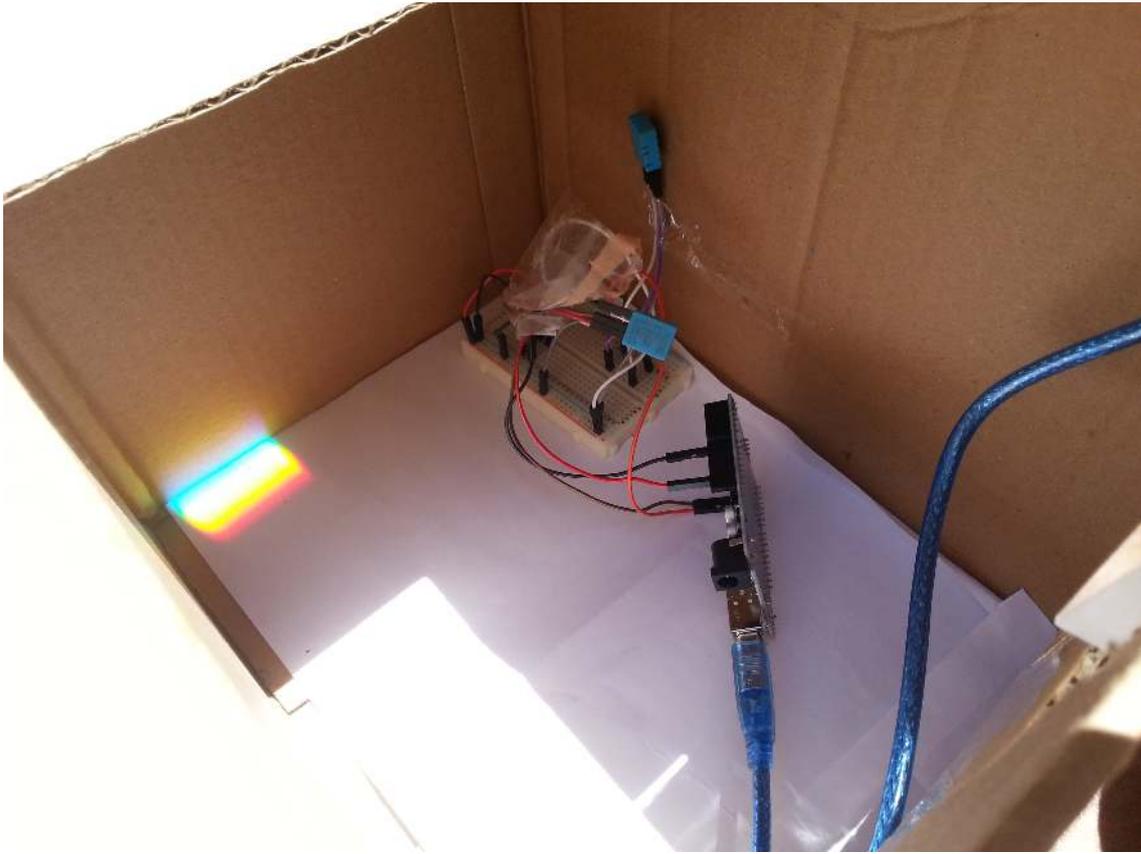


Figura 4.14: Esquema da montagem interna. O medidor colado na parede ficou naquela posição em todos os experimentos. Foto tirada pelo autor.

O procedimento do experimento foi o mesmo:

1. Posicionar os dois medidores na sombra.
2. Esperar as medições estabilizarem em valores próximos (temperatura ambiente).
3. Colocar o invólucro preto em um dos medidores e posicioná-lo na cor que se quer analisar.
4. Esperar as medições estabilizarem.

4.2.1 Violeta

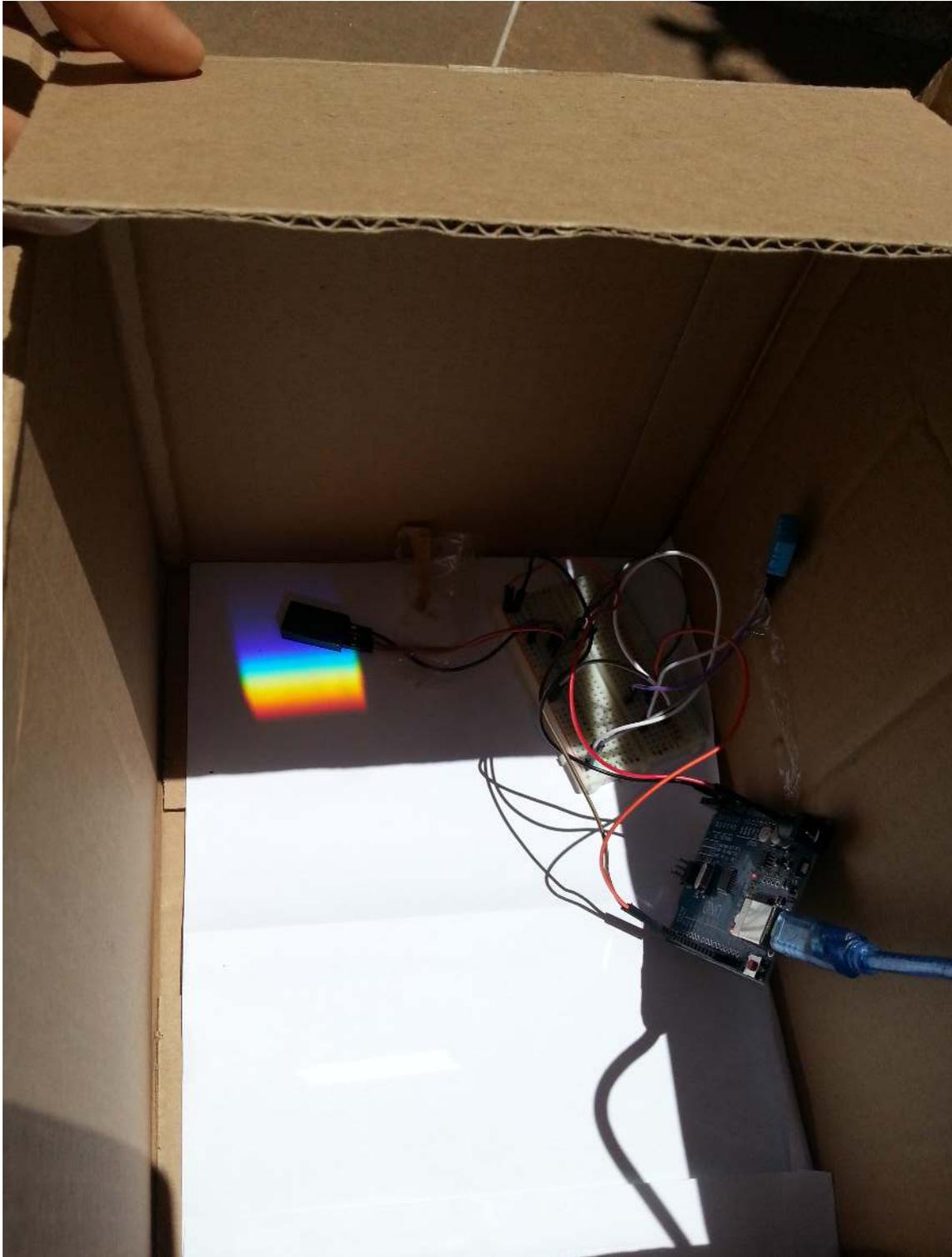


Figura 4.15: Medição utilizando violeta, segundo dia. Foto tirada pelo autor.

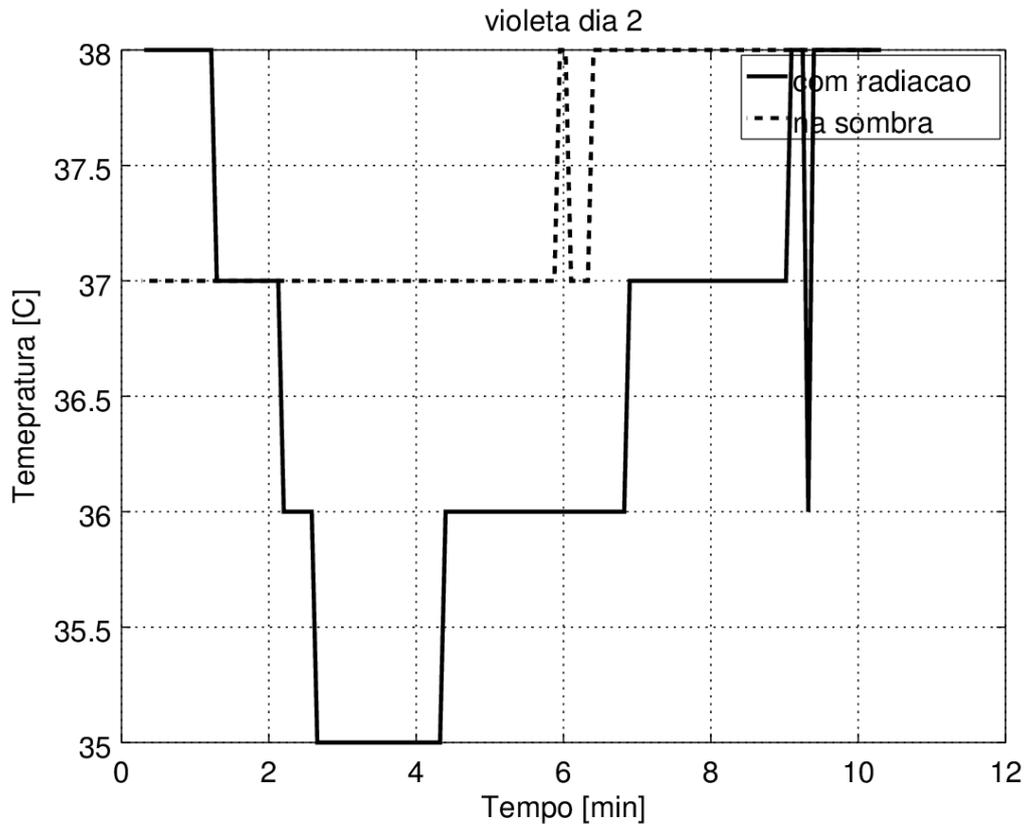


Figura 4.16: Resultado da medição utilizando violeta, segundo dia.

Vemos no gráfico da figura 4.16 que, inicialmente, os dois medidores mostravam temperaturas próximas, com diferença de 1°C.

O invólucro foi colocado aos 2 minutos, e após isso houve uma queda de temperatura. Antes de colocá-lo, eu assoprava pois ele ficava no meu bolso, ficava mais quente e achei que era necessário resfriá-lo. Pode ser que isso tenha causado tal efeito.

A temperatura voltou a subir aos 4 minutos e meio e foi até a temperatura ambiente. Não foi verificado o aumento de temperatura como no dia 1. Talvez não tenha sido dado tempo suficiente para o aquecimento. Vemos que a temperatura estava aumentando até a simulação ser interrompida aos 10 minutos.

4.2.2 Verde e Amarelo

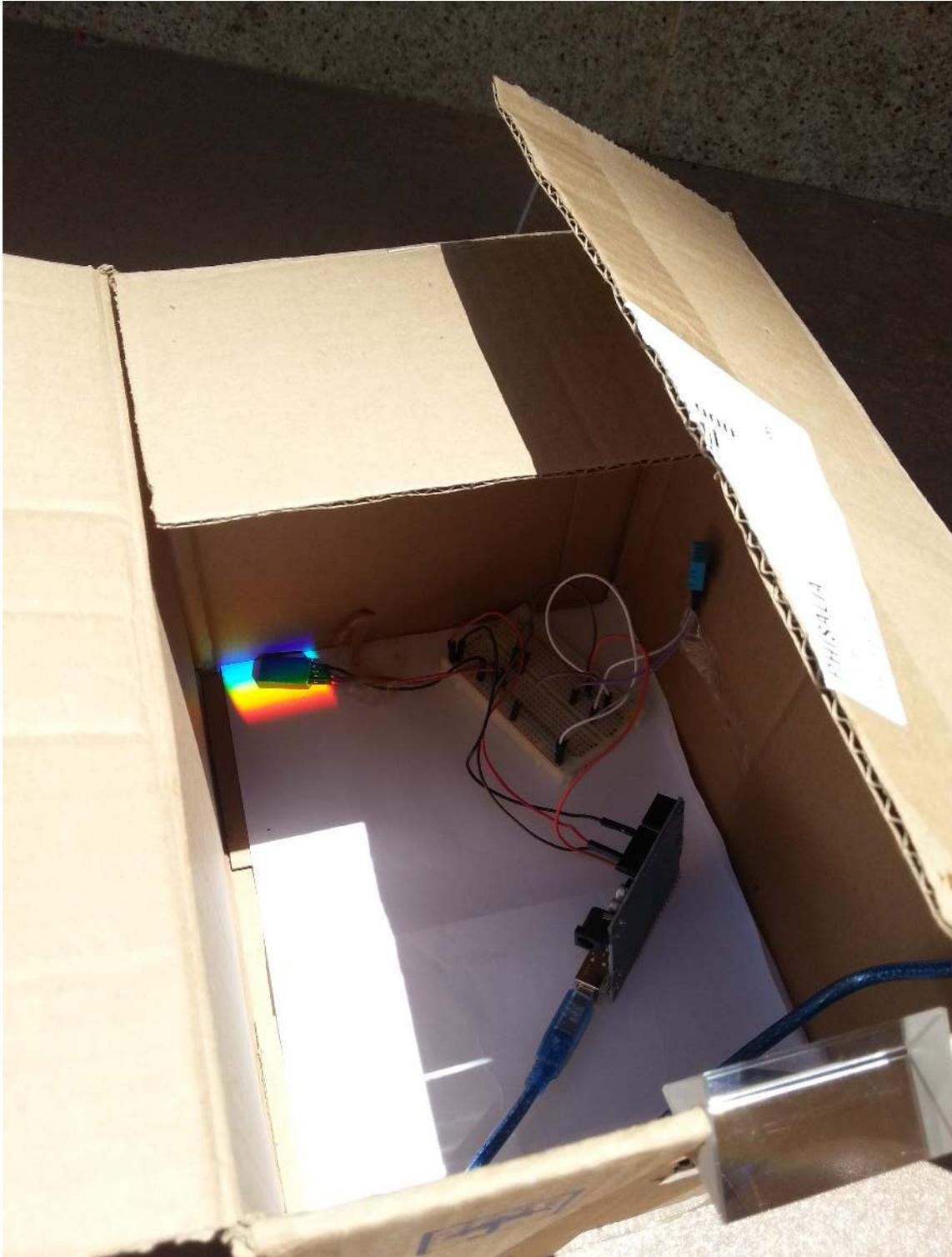


Figura 4.17: Medição utilizando verde e amarelo, segundo dia. Foto tirada pelo autor.

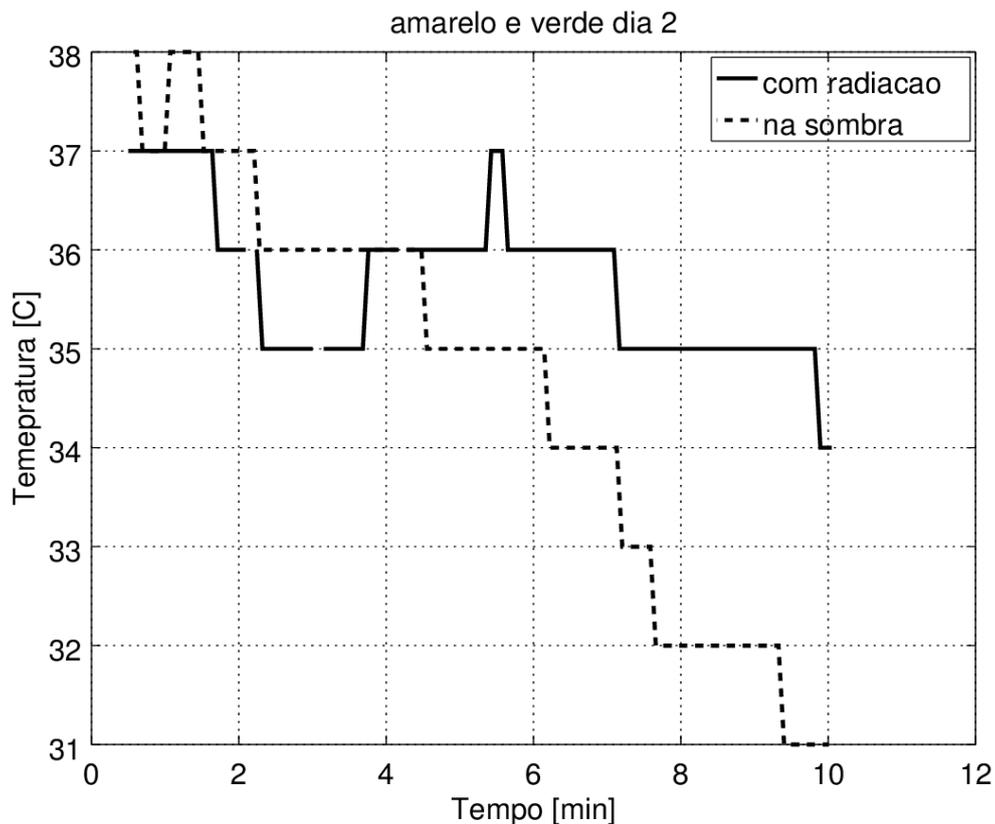


Figura 4.18: Resultado da medição utilizando verde e amarelo, segundo dia.

Esse experimento foi realizado após o que utilizou o violeta. Por isso vemos no gráfico da figura 4.18 a temperatura baixando da temperatura final do experimento com violeta até ficarem iguais aos 4 minutos.

Aos 4 minutos foi colocado o invólucro preto e o medidor foi posicionado na faixa com verde e amarelo, como mostra a figura 4.17.

A seguir, a temperatura ambiente caiu (linha tracejada) enquanto que a temperatura lida pelo medidor posicionado na luz não.

Por fim (experimento interrompido com 10 minutos), vemos as temperaturas finais com uma diferença de 3°C. Isso foi consideravelmente menor³ do que o resultado obtido no primeiro dia.

³É chato falar de maior e menor com números pois esse é um termo relativo. Nesse caso, estamos comparando com as diferenças de temperatura obtidas nos experimentos anteriores, que ficaram entre 2 e 5 °C

4.2.3 Infravermelho



Figura 4.19: Medição utilizando infravermelho, segundo dia. Visão com o prisma. Foto tirada pelo autor.

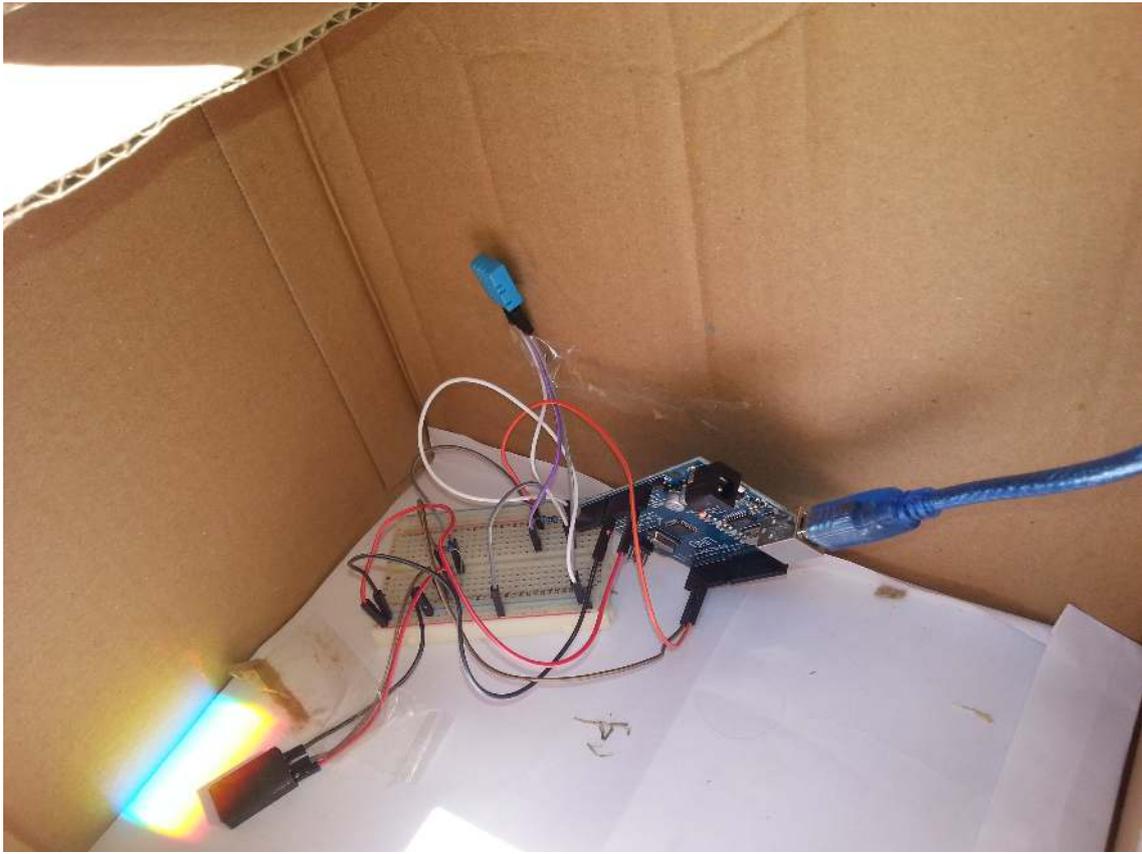


Figura 4.20: Medição utilizando infravermelho, segundo dia. Visão interior. Foto tirada pelo autor.

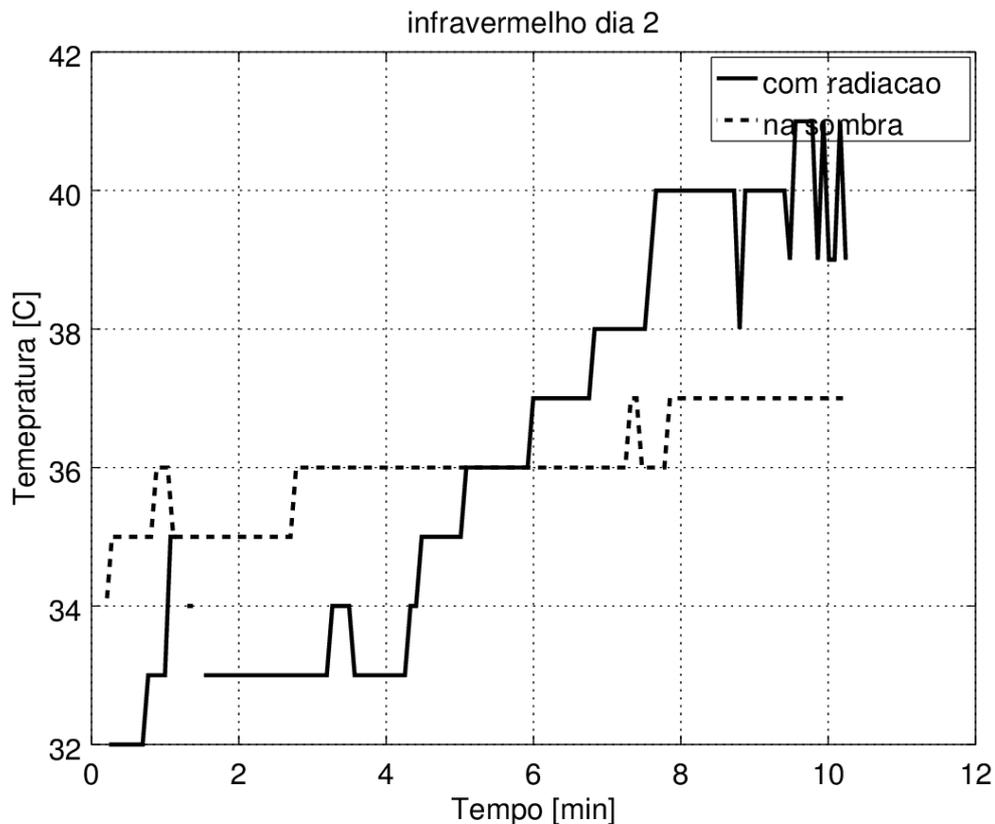


Figura 4.21: Resultado da medição utilizando verde e amarelo, segundo dia.

A ordem de execução dos experimentos foi trocada. O infravermelho foi feito primeiro⁴, seguido do violeta e então o verde. Por isso as temperaturas finais do gráfico 4.21 são compatíveis com as iniciais do gráfico 4.16.

No gráfico da figura 4.21, próximo a 1 minuto, há descontinuidades no gráfico. Por algum erro, os dados obtidos para aquelas posições foram NaN ⁵.

Vemos a temperatura dos medidores variando entre 0 e 4 minutos, até estabilizarem ao mesmo valor, 36°C, em 5 minutos.

Próximo aos 6 minutos, foi colocado o invólucro e o medidor foi posicionado no infravermelho, como mostram as figuras 4.19 e 4.20. A seguir, a temperatura lida por tal medidor aumentou até um máximo de 41°C, variando entre 39°C e o máximo. Nesse tempo, a temperatura ambiente aumentou 1°C.

Vemos, assim, que o infravermelho causou um aumento de aproximadamente 41°C.

A oscilação observada no gráfico 4.21 é bem estranha! Se a temperatura fosse de 40.5°C, ele poderia oscilar entre 40°C e 41°C, que é a resolução do aparelho. Mas oscilar

⁴Não obtive um bom resultado no infravermelho no primeiro dia, e eu queria muito saber o que iria acontecer. Por isso ele foi realizado primeiro.

⁵*Not a number*

2°C...Estranho.

4.3 Resumindo...

Cor	ΔT_{max} dia 1	ΔT_{max} dia 2
Violeta	3	0
Verde/Amarelo	5	3
Infravermelho	3	4

Tabela 4.1: Resumo dos resultados obtidos nos dois dias de experimento.

Capítulo 5

Análise e Comparação com o Original

5.1 Comparação com o Original

No experimento original, gráfico 2.4, foi observado o maior aquecimento no infravermelho. Pelos meus resultados, o maior aquecimento ocorre no verde. Como explicar isso?

1. O experimento de Herschel está errado.
2. O infravermelho é refletido pelo invólucro feito.
3. O medidor não foi bem posicionado.
4. Radiação de outras fontes.
5. Correntes de ar.
6. Erros de medição.
7. A luz não foi bem decomposta.
8. Experimento com infravermelho do primeiro dia não concluído.

1

O 1 não pode ser. O experimento foi e é bem aceito pela comunidade científica.

2

O 2 é bem possível. O invólucro é preto, logo absorve a radiação visível. Como ver se ele reflete ou absorve o infravermelho? Segundo [3], papel absorve bem infravermelho, e ele é feito de papel. Segundo [4], as tintas brancas e amarelas refletem bem. As outras absorvem bem. Logo, não é isso que causa a inconsistência.

3

Os medidores eram grandes para decomposição da luz feita. Também há imprecisão no posicionamento e variações da posição causadas por batidas, ventos, etc. Porém, o experimento foi monitorado o tempo todo, as variações na posição eram corrigidas sempre que necessário. Outro detalhe é que o medidor, quando colocado no verde e amarelo, pegava um pouco do azul, mas quase nada do vermelho, como pode ser visto nas figuras 4.7 e 4.17. Como é esperado que o azul não cause muito aquecimento, tal erro de posicionamento não afeta o experimento. Logo, 3 não é.

4

Nos dois dias, a radiação era forte o suficiente para podermos desconsiderar efeitos de outras fontes. O 4 não explica.

5

Se, por algum motivo aleatório, o vento tivesse parado durante o experimento com o verde (não lembro se isso ocorreu), poderia ter ocorrido um grande aquecimento. Mas isso seria notado pelo segundo medidor (ele está lá para isso). Logo, o 5 não é.

6

É bem possível que erros de medição tenham causado o efeito observado. Suponha que aleatoriamente a natureza quis “*tirar com a minha cara*” e fazer, no primeiro experimento com verde e amarelo, o medidor que está na luz indicar valores maiores e o que está na sombra indicar valores menores. Nesse caso, os resultados eram para dar diferentes, com variação menor. Mas não deram. Porém, não é possível verificar se isso ocorreu ou não, de forma que pode ser que 6 tenha afetado os resultados.

7

Observe a figura 4.20. Tem branco onde era para ter verde. A luz pode ter sido mal decomposta e muita radiação estava chegando onde está o verde. O motivo disso ocorrer está esquematizado na figura 5.1.

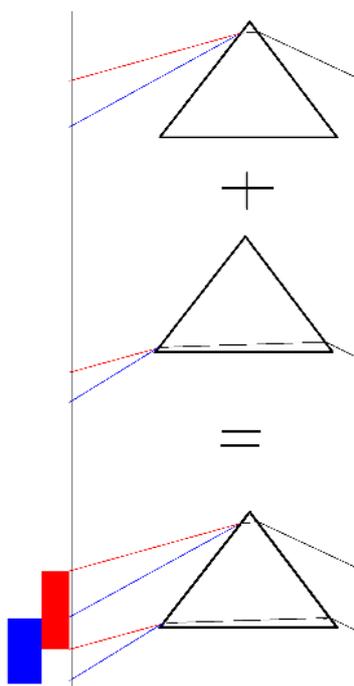


Figura 5.1: Esquema da faixa das cores ao se decompor luz branca no prisma. Há uma faixa em que o azul e o vermelho se misturam. Nela, veremos branco, acima azul e abaixo vermelho. Imagem elaborada pelo autor.

A fim de reduzir esse efeito, o prisma deve ser colocado bem distante dos medidores. Isso não separa mais as cores, apenas aumenta o tamanho de todas as faixas, de forma sendo possível ajustar-se melhor ao tamanho do medidor. A caixa utilizada era pequena (e eu não havia pensado nesse efeito antes), de forma que tal efeito pode ser considerável. Outra forma de minimizar esse efeito é fazer o desvio sofrido pelos raios de luz ser máximo. Na figura 4.2, é possível ver que o desvio é grande (o máximo é aproximadamente 60°). Na figura 4.6 é possível ver¹ uma pequena faixa branca, mostrando que a luz não foi tão bem decomposta. Na figura 4.14, que é no segundo dia e num momento em que o prisma estava mal posicionado, é possível ver bem esse efeito.

Por causa disso, a faixa de verde poderia ter infravermelho, aquecendo mais e causando a inconsistência observada. Logo, o efeito da figura 5.1 traz uma possível explicação.

Nas figuras 4.19 e 4.20, podemos ver como o medidor foi posicionado. Para o violeta, o medidor foi colocado em cima do violeta com uma parte no azul. Para o verde e amarelo, ele ficou em quase toda a faixa do espectro visível. Para o infravermelho, ele foi colocado quase que todo fora do visível. Talvez pouco dele estivesse exposto ao infravermelho, visto que não é possível ver e avaliar, como mostra a figura 5.2 de forma que o efeito de aquecimento diminui.

¹Com zoom de 400% é possível ver.

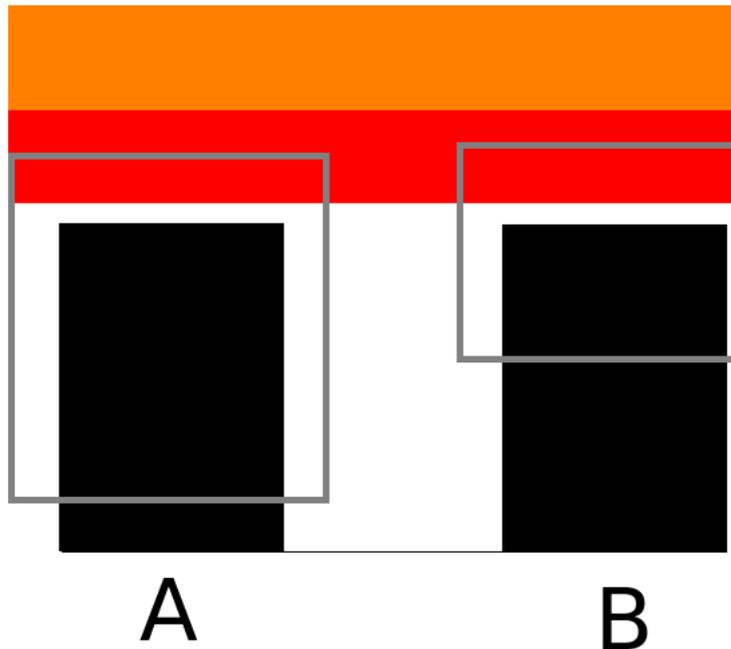


Figura 5.2: Em preto, esquematicamente, os invólucros utilizados no experimento. Em cinza, a faixa de infravermelho. Em vermelho e laranja, as respectivas cores do espectro visível. Em **A** a faixa de infravermelho que achamos que atinge o medidor. Em **B** o que de fato acontece. Imagem elaborada pelo autor.

O efeito da figura 5.2 é bem considerável, e pode explicar a inconsistência.

8

Outro possível fator que pode levar às inconsistências apresentadas é o fato de o experimento no primeiro dia não ter sido concluído pois, durante sua realização, uma nuvem bloqueou parte da radiação solar. Poderia acontecer de o medidor indicar um grande aquecimento, possivelmente maior do que no experimento com verde, mas não é possível afirmar nada. Outro fator importante é que o vapor d'água absorve bastante radiação infravermelha², isto é, a presença de nuvens inviabiliza o experimento por bloquear o principal espectro analisado. Portanto, 8 é um fator muito relevante na análise do problema em questão, e uma possível causa.

Logo...

Cada um dos fatores apresentados em 6, 7 e 8 podem ter contribuído, em maior ou menor grau, para gerar a inconsistência observada.

²Fonte: [3].

5.2 Análise

É interessante notar que a diferença de temperatura no infravermelho, primeiro dia, foi igual ao do violeta. Porém, no caso do violeta, os dois medidores mostravam 2°C de diferença quando sem luz, e quando foi colocada a luz essa diferença permaneceu, como mostra o gráfico da figura 4.5, levando-nos a concluir que não houve um aumento significativo por causa da luz. No caso do infravermelho, como mostra o gráfico da figura 4.11, as temperaturas eram iguais quando estabilizaram na temperatura ambiente. Após ser colocado na luz, o medidor indicou um aumento de 4°C , enquanto que o que ficou na sombra indicou um aumento de 2°C . Disso concluímos que a temperatura ambiente aumentou 2°C e, assim, que no infravermelho causou um aumento de 2°C .

O primeiro dia não estava tão quente. A temperatura média foi de 30°C . O segundo dia estava mais quente, com o medidor da sombra indicando uma temperatura média de 35°C . Claro que, por ele ficar dentro da caixa, e ter radiação incidindo diretamente nela, a temperatura indicada pode ser maior do que a ambiente. Isso mostra que os dias dos experimentos tinham bastante incidência de radiação, contribuindo para maximizar o aquecimento.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Resultados do Experimento

Fracasso!

Tentando obter um resultado similar ao mostrado no gráfico da figura 2.4, como mostra a tabela 4.1, obteve-se um resultado similar. Mas é claro que isso só com os valores indicados, sem considerar os erros de medição. Utilizando-os, vemos que o experimento foi inconclusivo nessa análise.

Analisando a existência do raio infravermelho, vemos que, no experimento com infravermelho no segundo dia, obteve-se uma diferença de temperatura de 4°C. Considerando um erro máximo de 2°C para cada medidor, tira-se que os resultados foram inconclusivos. Não é possível afirmar que houve aquecimento no local onde não havia luz (pode ser que, aleatoriamente, um medidor “decidiu” mostrar uma temperatura mais alta e o outro uma mais baixa), de forma que os experimentos aqui apresentados não são suficientes para concluir que existe um espectro abaixo¹ do vermelho.

6.2 Recomendações para as Próximas Vezes

Foram diversos os fatores que levaram a erros. Para próximas tentativas de realizar o experimento, recomenda-se:

1. Utilizar medidores com precisão de, pelo menos, 0.25°C.
2. Cuidar melhor da decomposição da luz, buscando medidores menores e separando melhor os espectros.
3. Leve algo para fazer sombra para o computador. Ele é um equipamento eletrônico sensível (a menos que o seu seja bem resistente a calor), e deixá-lo exposto ao sol durante a realização do experimento não é a melhor ideia do mundo.

¹de frequência menor.

4. Faça o experimento na estação com maior incidência de luz a fim de maximizar o aquecimento, e torná-lo mais fácil de medir.
5. Cuide bem da fixação da caixa, você não quer ela oscilando por causa de ventos ou outros fatores.

Capítulo 7

Referências

[1] OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. Revista Brasileira de Ensino de Física, Campina Grande, v. 36, n. 4, p.1-11, 23 out. 2014. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/364603.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

[2] COOL COSMOS (EUA). Nasa. The Herschel Experiment. 2016. Disponível em: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/page/lesson_herschel_experiment>. Acesso em: 07 nov. 2016.

[3] NEUBERN, Larissa (Ed.). Materiais que absorvem raios infravermelhos. 2016. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/materiais-absorvem-raios-infravermelhos-info_35274/>. Acesso em: 22 nov. 2016.

[4] SOUZA, William M.; COSER, Eliane; FERREIRA, Carlos A.. Estudo dos Pigmentos Refletores de Infravermelho. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/47683/Poster_10654.pdf?sequence=2>. Acesso em: 22 nov. 2016.

Apêndice A

Códigos

A.1 Programa utilizado no Arduino

```
1 #include "DHT.h"
2
3 #define DHTTYPE 11
4
5 // experiment config
6 const int NameSize = 30;
7 const double maxTimeMinute = 10;
8 const double maxTimeMilisecond = maxTimeMinute*60*1000;
9 const double delayBetweenMeasureSecond = 2;
10 const double delayBetweenMeasureMilisecond = 1000 *
    delayBetweenMeasureSecond;
11
12 // DHT config
13 const int colorPin = 2; // digitalPin where the color reader is
14 const int shadowPin = 3; // digitalPin where the shadow reader
    is
15 DHT dhtColor(colorPin , DHTTYPE);
16 DHT dhtShadow(shadowPin , DHTTYPE);
17
18 void setup() {
19     Serial.begin(9600);
20     Serial.print("Starting experiment!\n\n");
21
22     dhtColor.begin();
23     dhtShadow.begin();
24 }
25
26 void loop() {
```

```

27 String colorName;
28 double initialTime;
29 double timeColor;
30 double timeShadow;
31
32 readColorName(colorName);
33 writeStart(colorName);
34
35 initialTime = millis();
36 timeColor = initialTime;
37 timeShadow = initialTime;
38 while( ((timeShadow - initialTime) < maxTimeMilisecond) && ((
    timeColor - initialTime) < maxTimeMilisecond) )
39 {
40     double temperatureColor, temperatureShadow;
41     readTemp(timeColor, temperatureColor, dhtColor);
42     readTemp(timeShadow, temperatureShadow, dhtShadow);
43     writeValues(timeColor, temperatureColor, timeShadow,
        temperatureShadow);
44
45     if( Serial.available() > 0 )
46     {
47         String readed;
48         readed = Serial.readString();
49         if(readed == "q") break;
50     }
51 }
52
53 writeEnd(colorName);
54
55 }
56
57 void readColorName(String & colorName)
58 {
59     bool colorRead = false;
60
61     Serial.print("Tempo maximo de medicao: ");
62     Serial.print(maxTimeMinute);
63     Serial.print(" minutos\n");
64     Serial.print("Insira 'q' para finalizar.\n");
65     Serial.print("Insira a cor que sera medida.");
66
67     while( colorRead==false )

```

```

68  {
69      if( Serial.available() > 0 )
70      {
71          colorName = Serial.readString();
72          colorRead = true;
73      }
74  }
75 }
76
77 void writeStart(const String & colorName)
78 {
79     Serial.print("\n\n");
80     Serial.print("colorName = ");
81     Serial.print(colorName);
82     Serial.print("'\n\n");
83     Serial.print("colorMatrix = [\n");
84 }
85
86 void writeValues(double timeColor, double temperatureColor,
87                 double timeShadow, double temperatureShadow)
88 {
89     double secondColor = timeColor / 1000;
90     double secondShadow = timeShadow / 1000;
91     Serial.print(" ");
92     Serial.print(secondColor, 2);
93     spacement();
94     Serial.print(temperatureColor, 2);
95     spacement();
96     Serial.print(secondShadow, 2);
97     spacement();
98     Serial.print(temperatureShadow, 2);
99     Serial.print(";\n");
100 }
101 void spacement(void)
102 {
103     Serial.print(", ");
104 }
105
106 void writeEnd(String & colorName)
107 {
108     // finish
109     Serial.print("];\n\n");

```

```

110 }
111
112 void readTemp(double & t, double & temp, DHT & dht)
113 {
114     t = millis();
115     temp = dht.readTemperature();
116     delay(delayBetweenMeasureMilisecond);
117 }

```

A.2 Script Matlab

Função auxiliar

```

1 function [] = plotFunc ( colorName , colorMatrix )
2
3     shadowTime = colorMatrix(:,1) / 60;
4     shadowTemperature = colorMatrix(:,2);
5     colorTime = colorMatrix(:,3) / 60;
6     colorTemperature = colorMatrix(:,4);
7
8     figure('visible' , 'off')
9         lineWidth = 2;
10        plot( colorTime , colorTemperature , 'k-', 'linewidth' ,
11            lineWidth , shadowTime , shadowTemperature , 'k-', '
12            linewidth' , lineWidth );
13        fontSize = 15;
14        title( colorName , 'fontsize' , fontSize );
15        xlabel( 'Tempo [min]' , 'fontsize' , fontSize );
16        ylabel( 'Temperatura [C]' , 'fontsize' , fontSize );
17        grid on;
18        LEG = legend( 'com radiacao' , 'na sombra' );
19        set( LEG , 'fontsize' , fontSize );
20        set( gca , 'fontsize' , fontSize );
21        print( colorName , '-dpng' );
22    end

```

Script

```

1 clear
2 clc
3 run_experiment_result/amarelo_verde
4 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
5
6 clear
7 clc

```

```
8 run experiment_result/infravermelho_2
9 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
10
11 clear
12 clc
13 run experiment_result/infravermelho
14 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
15
16 clear
17 clc
18 run experiment_result/verde_2
19 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
20
21 clear
22 clc
23 run experiment_result/violeta_2
24 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
25
26 clear
27 clc
28 run experiment_result/violeta
29 plotFunc ( colorName , colorMatrix );
```