

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDREY HENKE

MULTISENSORIAMENTO DE FACHADAS PARA CONTROLE INTELIGENTE DE  
PROTEÇÃO SOLAR

Utilização de sensores de temperatura e luminosidade para controle eficiente de condições térmicas e luminosas para interiores corporativos, fazendo uso de cortinas motorizadas.

PORTO ALEGRE

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDREY HENKE

MULTISENSORIAMENTO DE FACHADAS PARA CONTROLE INTELIGENTE DE  
PROTEÇÃO SOLAR

Utilização de sensores de temperatura e luminosidade para controle eficiente de condições térmicas e luminosas para interiores corporativos, fazendo uso de cortinas motorizadas.

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Dr. Renato Ventura Bayan Henriques

PORTO ALEGRE

2014

ANDREY HENKE

MULTISENSORIAMENTO DE FACHADAS PARA CONTROLE INTELIGENTE DE  
PROTEÇÃO SOLAR

Utilização de sensores de temperatura e luminosidade para controle eficiente de condições térmicas e luminosas para interiores corporativos, fazendo uso de cortinas motorizadas.

Este projeto foi analisado e julgado adequado para a obtenção dos créditos da Disciplina de Projeto de Diplomação, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

---

Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques

Aprovado em: 04/07/2014

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Eng. Eletricista Arnaldo Fleck

Dedico este trabalho a minha noiva  
Juliana, por sempre acreditar, apoiar  
e participar desta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Renato Ventura, pelo permanente bom humor, pela orientação e conhecimento ao trabalho realizado.

A minha mãe e pai, pelo exemplo de luta e dedicação na formação integral de seus filhos.

A minha irmã pelo apoio e inclusive pela mudança de cidade para me ajudar nesta conquista e ao meu irmão pelo incentivo de sempre.

A UFRGS e a todos os mestres que dela fazem parte por terem me fornecido uma capacitação de qualidade.

The quality of your thinking  
determines the quality of your life

A.R. Bernard

## RESUMO

Este trabalho aborda o consumo de energia em edificações corporativas no Brasil, sob o enfoque da eficiência energética. É apresentado como solução um dispositivo inteligente de controle energético com o objetivo de reduzir e adequar o consumo de energia com refrigeração e iluminação artificial em níveis adequados para o bem estar dos usuários. Estima-se que as edificações corporativas brasileiras consumam 40% a 45% de toda energia elétrica gasta no Brasil. Deste percentual, entorno de 50% são consumidos com refrigeração e iluminação artificial. Desta forma, os prédios apresentam consumos expressivos de energia elétrica e grandes potenciais de economia de energia podem ser alcançados com o dispositivo desenvolvido.

Com o desenvolvimento do dispositivo e sua análise em determinados cenários, é demonstrado que a faixa de economia gerada pelo dispositivo inteligente de controle energético poderá ficar entre 12 a 72%, dependendo muito de condições externas e internas de uso. É possível concluir que o mesmo apresentará melhores índices de eficiência energética independentemente da situação a que seja comparado.

Estima-se que o material possua viabilidade comercial de implantação, logo sendo uma possível solução de redução no consumo energético para edificações no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Energética em Edificações, Consumo energético, Desempenho Energético, Refrigeração, Iluminação artificial, dispositivo inteligente de controle energético.

## **ABSTRACT**

This project presents the energy consumption in corporate buildings in Brazil, with a focus on energy efficiency. It is presented a Smart Energy Control Device as solution for this consumption, in order to reduce and adjust the energy consumption for cooling and artificial lighting to comfortable levels for users. It is estimated that Brazilian corporate buildings consume 40% to 45% of all electrical energy consumed in Brazil. On this statistics, around 50% are consumed with cooling and lighting. Thus, the buildings have great potential for significant energy savings and consumption achievements with the device presented.

With the development of the Smart Energy Control Device it is presented that the range of economy is between 12 to 72%, depending on external and internal conditions of its use. It is conclusive that this Device will contribute with energy savings in any circumstances that is used.

It is estimated that its commercial use it is applicable, being therefore a direct possibility of control on energy consumption for Brazilians edifications.

**KEYWORDS:** Energy Efficiency in Buildings, Energy Consumption, Energy Performance, Cooling, Artificial Lighting, Smart Energy Control Device.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia em edificações .....	2
Figura 2 – Incidência da radiação em uma fachada de vidro .....	3
Figura 3 – Termômetro infravermelho em uma residência.....	4
Figura 4 – Propriedades de radiação de vidro simples transparente sem cortinas .....	11
Figura 5 – Parâmetros de radiação solar média da cidade de Porto Alegre ....	12
Figura 6 – Comparativo de uma situação com cortinas metalizadas e outra sem cortinas.....	14
Figura 7 – Edificação projetado para melhor uso da iluminação natural .....	17
Figura 8 – Consumo de energia elétrica em uma edificação.....	20
Figura 9 – Fluxo de desenvolvimento do sistema embarcado .....	23
Figura 10 – Representação gráfica do processo e modelo do sistema.....	25
Figura 11 – Diagrama de fluxo de dados .....	25
Figura 12 – Driver de controle do motor DC.....	27
Figura 13 – Programação para configuração de acionamento do motor.....	27
Figura 14 – Sensor de luminosidade .....	29
Figura 15 – Esquema de ligação do LDR com Arduino .....	29
Figura 16 – Programação para obtenção de índice luminoso .....	29
Figura 17 – Sensor de temperatura.....	30
Figura 18 – Esquema de ligação do LM35 com Arduino.....	30
Figura 19 – Programação para obtenção de índice térmico.....	31
Figura 20 – Conjunto transmissor-receptor de Rádio Frequência .....	31
Figura 21 – Programação para definição das variáveis A .....	33
Figura 22 – Programação para definição das variáveis B .....	33
Figura 23 – Programação para envio de dados do transmissor .....	33
Figura 24 – Programação para recepção dos dados por parte do receptor .....	34

Figura 25 – Programação para obtenção de médias .....	35
Figura 26 – Programação para levantamento das cortinas durante a noite .....	37
Figura 27 – Programação para levantamento das cortinas durante a manhã ..	38
Figura 28 – Programação para levantamento das cortinas ao meio dia .....	38
Figura 29 – Programação para levantamento das cortinas ao final de tarde ...	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais de construção e coeficiente de transmissão de calor .....	10
Tabela 2 – Iluminância por classe de tarefas visuais .....	19
Tabela 3 – Usos finais para edificações com e sem ar condicionado no Brasil	20
Tabela 4 – Estimativa de luminárias necessárias para iluminação artificial no projeto .....	21
Tabela 5 – Tabela lógica para o comando do sentido do motor.....	28
Tabela 6 – Condições de iluminação comum a todas situações .....	39
Tabela 7 – Ambiente estudado comum a todas situações .....	40
Tabela 8 – Cenário 1: cortinas sempre levantadas .....	41
Tabela 9 – Cenário 2: cortinas sempre baixadas .....	42
Tabela 10 – Cenário 3: cortinas motorizadas e controle automático.....	43
Tabela 11 – Resultados de consumo energético em cada cenário/ano .....	44
Tabela 12 – Resultados de custos em cada condição/ano .....	44
Tabela 13 – Custos para a implementação do protótipo do dispositivo .....	45

## LISTA DE SIGLAS

DC – *Dynamic current*

EIA – *Energy Information Administration*

LDR – Resistor dependente de luz

MCU – Microcontrolador

Mhz – Megahertz

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	2
<b>3. CARGA TÉRMICA</b> .....	5
3.1. Definições e Cálculos .....	5
3.2. Cálculo do consumo de Refrigeração .....	15
3.3. Iluminação .....	16
3.3.1. Qualidade da iluminação .....	16
3.3.1.1. Determinação mínima e máxima pela NBR 5413 – Iluminância de interiores.....	18
3.3.2. Consumo de energia para iluminação no mundo.....	19
3.3.3. Calor gerado por iluminação artificial .....	21
3.3.4. Determinação de luminárias utilizadas.....	21
3.3.5. Cálculo de consumo para iluminação .....	22
<b>4. DESENVOLVIMENTO DISPOSITIVO</b> .....	22
4.1. Especificações do Hardware .....	24
4.2. Diagrama de blocos do projeto.....	24
4.3. Diagrama de fluxo de dados.....	25
4.4. Driver para acionamento do motor da cortina .....	26
4.5. Desenho esquemático da ponte H do circuito integrado L298 .....	27
4.6. Sensor de luminosidade - LDR.....	28
4.7. Sensor de temperatura LM35.....	30
4.8. Transmissor e Receptor Rádio Frequência – 433 Mhz .....	31
4.9. Variáveis utilizadas.....	32
4.10. Transmissão por RF – Utilização biblioteca VirtualWire .....	33
4.11. Recepção por RF – Utilização biblioteca VirtualWire .....	34
4.12. Medição médias – Condição para evitar ruídos .....	35
4.13. Condições para acionamento dos motores .....	36

4.13.1.Cenário noite.....	36
4.13.2.Cenário início da manhã .....	37
4.13.3.Cenário meio dia .....	38
4.13.4.Cenário final de tarde.....	38
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1. Condições de contorno .....	39
5.2. Determinação de consumo energético e custos quanto a iluminação e refrigeração .....	40
5.3. Resultados finais de consumo energético e custos quanto a iluminação e refrigeração .....	43
5.4. Composição de itens utilizados e custos para dispositivo de controle .....	44
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>8. ANEXO A – Componentes de Hardware.....</b>	<b>49</b>
<b>9. ANEXO B – Programação do transmissor .....</b>	<b>50</b>
<b>10. ANEXO C – Programação do receptor.....</b>	<b>51</b>
<b>11. ANEXO D – Especificação motor utilizado.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica a respeito dos mecanismos para apuração do desempenho energético de edificações quanto a iluminação e refrigeração. Esta revisão indicou diversas possibilidades de atuação. Verificou-se alguns desdobramentos quanto a análise do uso energético em edificações. Estas edificações apresentam como uso final de maior importância a iluminação artificial e a refrigeração. Neste sentido, diversos trabalhos, como GHISI, 1997 e SOUZA, 2005, abordam o uso da iluminação natural para auxiliar no aumento do desempenho energético das edificações. O uso da iluminação natural também é abordado visando o conforto visual e sua influência no desempenho produtivo ou de aprendizagem. Ainda é estudado o controle da temperatura para ambientes internos por meio de diversos produtos, de cortinas a filmes nos vidros, para aumento do desempenho energético com melhor rendimento de refrigerações.

Com base nestes levantamentos, propõe-se o uso de dispositivos inteligentes de acionamento de cortinas motorizadas. Sugere-se o uso desta inteligência artificial para o consumo racional da energia, proporcionando uma grande economia para a edificação e o sistema de energia brasileiro. Além disso, sua utilização também proporcionará melhor ergonomia e bem estar para as pessoas.

Diante disso, o objetivo deste projeto é oferecer uma atuação na redução do consumo da energia consumida nos prédios pela refrigeração e iluminação artificial, com grande impacto na redução imediata de consumo energético.

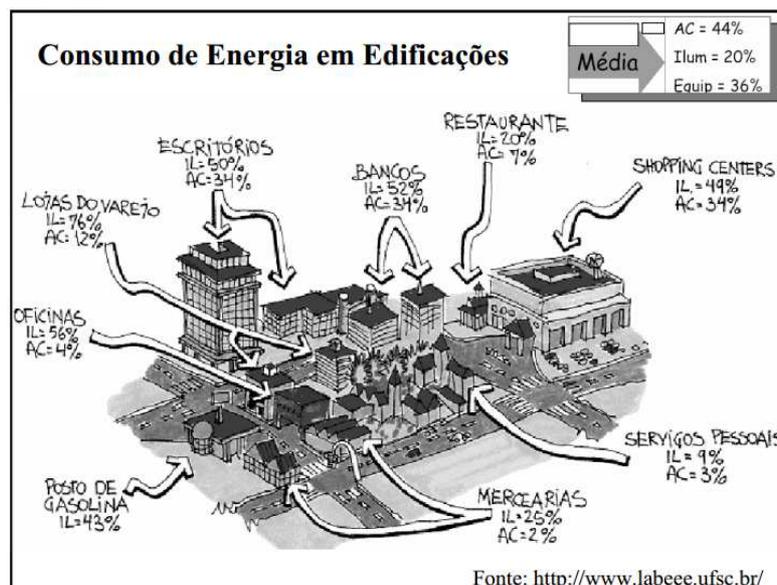
## 2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Este projeto nasce do desejo de colaborar com a redução do consumo da energia elétrica no cenário corporativo brasileiro. O consumo crescente da energia elétrica ao mesmo tempo em que nos deparamos com a falta de investimentos no setor de geração de energia vem diminuindo a distância entre oferta e demanda, tornando o seu fornecimento em curto prazo preocupante. Diante deste fato, este projeto vislumbra oferecer uma contribuição de baixo custo e fácil implementação para uma rápida redução de consumo energética e ainda com enormes benefícios a curto e médio prazo no consumo da energia.

Estudos recentes demonstram que aproximadamente 45% da energia no Brasil é consumida por prédios corporativos e residenciais, em sistemas artificiais de iluminação e refrigeração e ainda operação (elevadores, motores e outros) (ELETROBRAS, 2014).

Na Figura 1, é possível compreender como é dividido o consumo de energia em diversos tipos de edificações quanto ao uso de Ar Condicionados (AC), Iluminação artificial (IL), e demais equipamentos – os quais possuem seu percentual de consumo como sendo o restante da energia consumida para soma dos cem por cento de cada edificação, mas não apresentado diretamente.

Figura 1 - Consumo de energia em edificações



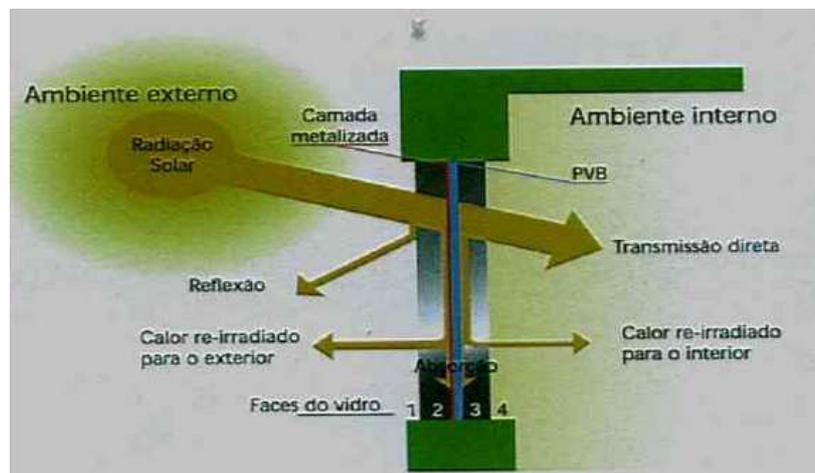
Fonte: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)

Alguns estudos demonstram que a readequação de sistemas de iluminação antigos (reforma e/ou atualização), operando com uso de tecnologias energeticamente eficientes podem diminuir o consumo de energia em iluminação em até 67%, da mesma forma é possível atingir índices significativos se aumentarmos o uso da luz natural evitando o uso da iluminação artificial (GHISI, 1997).

Já a redução no consumo de energia devido a refrigeração por condicionadores de ar pode ser alcançada aumentando esforços para redução da entrada da carga térmica no interior do prédio. Com este intuito, é interessante diminuir a transferência de carga térmica dos vidros das janelas, que possuem propriedades de isolamento, na grande maioria dos casos, de baixa eficiência.

Na Figura 2, pode-se visualizar os caminhos que a radiação toma ao incidir em uma fachada de vidro. No caso abaixo, a maior parte da radiação solar está sendo transmitida, enquanto uma pequena parte está sendo refletida. Quanto maior o bloqueio, ou seja quanto maior a reflexão alcançada na soma da cortina com o vidro, menor será a transmissão direta e menor será a necessidade de resfriarmos o ambiente interno.

Figura 2 – Incidência da radiação em uma fachada de vidro



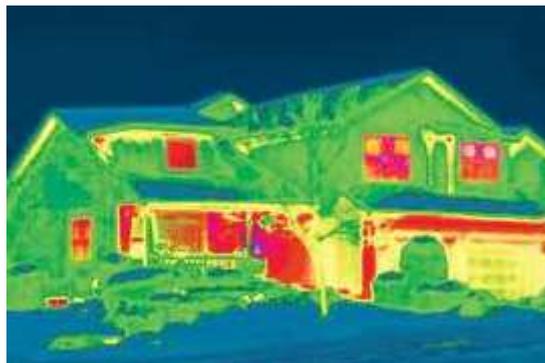
Fonte: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)

Propõe-se neste projeto, a utilização de cortinas em tecidos de alta propriedade de reflexão solar, os quais possuam propriedades semelhantes aos metais, como o alumínio e que sejam acionadas automaticamente para melhor obtenção dos resultados propostos. Para tanto, será criada uma programação que

monitore dados de temperatura e luminosidade e atue de forma instantânea para que atenda o conforto dos usuários e ao mesmo tempo ofereça uma diminuição significativa do consumo energético.

Para melhor visualização dos problemas referentes a transferência de calor através de vidros comuns apresenta-se a Figura 3. Esta imagem foi realizada durante a noite, no período do inverno, em uma casa europeia, e registrada através de uma câmera infravermelha, que contrasta as áreas quentes com as áreas frias. Pode-se identificar que a casa está fechada, mas mesmo assim pode-se notar que as cores vívidas, como vermelho e rosa que demonstram temperaturas altas, são registradas em todas as áreas que possuem vidro. As janelas da casa possuem cores quentes, que contrastam com toda a área fria no entorno da casa que está em contato direto com o frio da noite. No caso, esta residência está transmitindo todo o calor que é gerado para o aquecimento interno através das janelas (BBC, 2014). Embora este projeto aborde com maior ênfase o controle de áreas corporativas por conta da entrada de carga térmica durante o verão, em contrariedade com a imagem apresentada, a imagem abaixo representa com clareza a transmissão do calor através do vidro, que terá o mesmo resultado negativo quando trata-se da entrada do calor.

Figura 3 – Termômetro infravermelho em uma residência



Fonte: BBC, 2014

Impedir a condução do calor através do vidro será determinante para a diminuição imediata no consumo energético por parte da refrigeração. Este trabalho não propõe a substituição dos tipos de vidros por vidros de melhor desempenho. Muito embora esta seja uma medida de grande eficiência, o propósito deste projeto é oferecer uma solução com menor custo e menor intervenção estrutural.

### 3. CARGA TÉRMICA

#### 3.1. Definição e Cálculos

Para fins de cálculo de redução da carga térmica torna-se importante sua compreensão conceitual bem como as equações que demonstram seu comportamento. Para tanto, a seguir apresenta-se sua definição e equacionamento (MELO, 2007).

A carga térmica é a quantidade de calor latente e sensível que deve ser retirada (em casos de resfriamento) ou acrescida (em casos de aquecimento) em ambientes afim de proporcionar as condições de conforto desejadas para manutenção da temperatura de um ambiente, produto ou processo que demandem determinadas condições de temperatura.

Em edificações a carga térmica não possui linearidade no seu valor, e normalmente tem sua variação determinada pela temperatura externa, insolação, número de pessoas, equipamentos, fatores estes que possuem variação constante.

O ganho de calor de um ambiente pode ser determinado pela soma dos seguintes fatores:

- 1) Radiação solar através de superfícies transparentes tais como vidros;
- 2) Condução de calor através das paredes externas e telhados;
- 3) Condução de calor através das paredes internas, divisórias, tetos e pisos;
- 4) Calor gerado dentro do ambiente pelos ocupantes;
- 5) Calor proveniente por infiltração de ar exterior;
- 6) Calor gerado por outras fontes.

A carga de calor, é definida como a quantidade de calor que precisa ser removida do ambiente para que a temperatura seja constante.

Neste projeto, será considerado, para fins de cálculo, apenas o primeiro fator – **RADIAÇÃO SOLAR ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES TRANSPARENTES**.

Para o cálculo da carga térmica será apresentado a equação de condução de calor unidimensional e estacionária, a fim de determinar a distribuição de temperatura e o fluxo de calor em sólidos que tenham geometrias planas (folhas de vidro). A condição unidimensional e estacionária implica que existem gradientes de

temperatura apenas ao longo da direção de uma coordenada e que a temperatura dentro do sólido não varia com o tempo. No caso, considera-se a coordenada X – como está sendo o caminho percorrido ao longo da espessura de um vidro.

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} + \frac{1}{k}g(x) = 0 \quad (1)$$

Onde:

$T(x)$  = Distribuição de temperatura

$k$  = Condutividade Térmica

$g(x)$  = Taxa de geração de energia em  $W/m^3$

$x$  = Espessura do vidro, sendo esta limitada ao valor máximo  $L$

$L$  = Espessura final do vidro

Já com a distribuição de temperatura definida, o fluxo de calor em qualquer ponto do vidro é definido por:

$$q(x) = -k \frac{dT(x)}{dx}$$

Onde:

$q(x)$  = Fluxo de calor em  $W/m^2$

Para ilustrar o procedimento geral da resolução de calor com geração constante de energia  $g(0)$  tem-se:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} = - \frac{g(0)}{k}$$

Integrando duas vezes esta equação tem-se:

$$\frac{dT(x)}{dx} = - \frac{g(0)}{k}x + C1$$

$$T(x) = - \frac{g(0)}{2k}x^2 + C1x + C2$$

São necessárias condições de contorno para determinar estas constantes  $C_1$  e  $C_2$ . Estas condições são obtidas onde o comprimento do vidro é 0, seu início, assim como em sua espessura final  $L$ , considera-se a posição inicial  $x=0$  como sendo a temperatura  $T_1$  e a temperatura onde  $x=L$  como sendo a temperatura  $T_2$ .

Considerando uma condutividade térmica constante através do vidro –  $k$  constante – onde não há geração de energia no vidro tem-se a seguinte expressão:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} = 0 \quad \text{em} \quad 0 < x < L$$

$$T(x) = T_1 \quad \text{em} \quad x = 0$$

$$T(x) = T_2 \quad \text{em} \quad x = L$$

Integrando duas vezes a equação diferencial obtém-se:

$$T(x) = C_1x + C_2$$

Fazendo uso das condições de contorno:

$$T(x) = C_1x + C_2$$

Para  $x=0$

$$T_1 = C_2$$

Para  $x=L$

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Encontra-se a distribuição de temperatura  $T(x)$ :

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1$$

Considera-se por meio do cálculo que a temperatura variará linearmente através de  $x$ . O Fluxo de calor será obtido a partir da seguinte expressão:

$$q(x) = k \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad [W/m^2]$$

A Taxa do Fluxo de calor  $Q$  através de uma área da placa de vidro normal a direção do fluxo de calor é dada por:

$$Q = Aq = Ak \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad [W]$$

É possível reescrever o Fluxo de calor através da área  $A$  da seguinte forma:

$$Q = \frac{(T_2 - T_1)}{R}$$

Onde,

$$R = \frac{L}{Ak}$$

Cabe Lembrar que todo o material que compõe uma determinada superfície como neste caso o vidro, possui uma “Resistência Térmica”  $R$  a passagem de calor, em situações que ocorrem efeitos combinados de transmissão de calor por condução e convecção. O Inverso da Resistência Térmica é o termo denominado de “Coeficiente Global de Transmissão de Calor”.

Quando considerado que se busca alcançar a menor taxa de fluxo de calor ( $Q$ ) possível, e que não tem-se controle sobre a temperatura externa  $T_1$  e a temperatura interna  $T_2$ , deverá ser buscado o maior valor possível de resistência térmica para que seja obtido a menor taxa de fluxo de calor. Como já mencionado, a solução apresentada por este trabalho não envolve a alteração dos tipos de vidro, logo, a solução a ser encontrada para que o valor de  $R$  seja aumentado é a utilização de meios compostos. No caso, será inserida uma cortina com uma certa distância do vidro, e conseqüentemente um “colchão térmico” entre o vidro e a cortina. Desta forma, o fluxo de calor que entraria no ambiente apenas com a

barreira do vidro sofrerá impacto significativo em seu cálculo, sendo calculado a partir de então pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{(T2 - T1)}{R1} = \frac{(T1 - T3)}{R2} = \frac{(T3 - T4)}{R3}$$

Onde as várias resistências do vidro, colchão térmico e da cortina são definidas como:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} = \frac{A1k1}{L1} + \frac{A2k2}{L2} + \frac{A3k3}{L3}$$

Sua resistência equivalente é calculada da mesma forma que se calculamos resistências paralelas em problemas de circuito elétricos.

Por meio da utilização do software VEROSOL ENERGY SAVINGS CALCULATOR, que realiza os cálculos utilizando parâmetros de materiais utilizados em edificações, chega-se ao cálculo final que a utilização da combinação de vidro simples 6mm somados ao espaçamento da cortina com vidro em 10cm e somado a utilização de uma cortina de alto desempenho alcança-se a taxa de fluxo de calor total de 1,7 W/m<sup>2</sup>K.

Para a melhor compreensão do significado do índice de 1,7 W/m<sup>2</sup>.K apresenta-se diversos materiais de construção e seus índices de coeficiente global de transmissão de calor utilizados (Tabela 1) (SENAI, 2014).

Com base na tabela apresentada, é possível verificar que um vidro simples de espessura de 3 mm apresentaria um coeficiente de 6,4905 W / m<sup>2</sup> K, enquanto o material que oferecemos como proteção, vidro mais cortina metalizada apresenta 1,7W/m<sup>2</sup>K. Desta forma, tem-se uma transmissão muito mais lenta do calor que incidir na combinação vidro mais cortina.

Tabela 1 – Materiais de construção e coeficiente de transmissão de calor

<b>Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U)</b>		
Materiais de Construção		
<b>Superfície</b>	<b>Kcal / h.m<sup>2</sup>. °C</b>	<b>W / m<sup>2</sup>. K</b>
<b>Paredes de Alvenaria</b>		
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=10 cm;	2,65651	3,08896
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,18781	2,54396
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,07401	2,41164
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=30 cm;	1,43132	1,66432
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=40 cm;	1,24301	1,44536
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=20 cm;	1,80471	2,0985
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=15 cm;	2,60018	3,02347
Bloco de concreto estrudado e=5,0 cm;	4,63558	5,39020
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,11671	3,62408
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,03295	2,36389
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,34433	2,72597
Tijolo de concreto, argamassa externa, gesso interno e=20 cm;	2,25759	2,62511
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,15272	3,66598
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,71588	3,15801
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,32452	2,70292
<b>Paredes divisórias internas</b>		
Divisória de madeira foleada (Eucatex) e =5,5 cm	1,15601	1,34419
Divisória de madeira foleada (Eucatex), com isolamento interno e =5,5 cm	0,37452	0,43549
Gesso acartonado (DryWall) duplo 2placas e <sub>Gesso</sub> = 12,5 mm, e <sub>Total</sub> = 25 mm	3,12417	3,63276
Gesso acartonado (DryWall) com ar interno entre placas e <sub>Gesso</sub> = 12,5 mm	2,36808	2,75358
Gesso acartonado (DryWall) com lâ vidro interno entre placas e = 5,50 cm	0,89440	1,04000
Gesso acartonado (DryWall) com poliestireno interno entre placas e = 5,5 cm	0,40838	0,47487
Gesso acartonado (DryWall) com poliuretano interno entre placas e = 5,5 cm	0,33601	0,39071
<b>Portas</b>		
Porta de Madeira maciça e= 4,0 cm	2,24623	2,61189
Porta de Madeira compensada maciça e = 3,0 cm	2,10508	2,44776
Porta de Madeira foleada e <sub>Compensado</sub> = 7,0 mm ; e <sub>T</sub> = 3,0 cm	1,74331	2,02710
Porta de aço – Folha única e= 3,0mm	5,72069	5,65195
Porta de Vidro e= 10mm	5,27858	6,13788
<b>Janelas</b>		
Vidro Simples e = 3,0 mm	5,58189	6,4905
Vidro simples, duplo, ante ruído, ar interno e= 2,0 cm	2,70175	3,14157

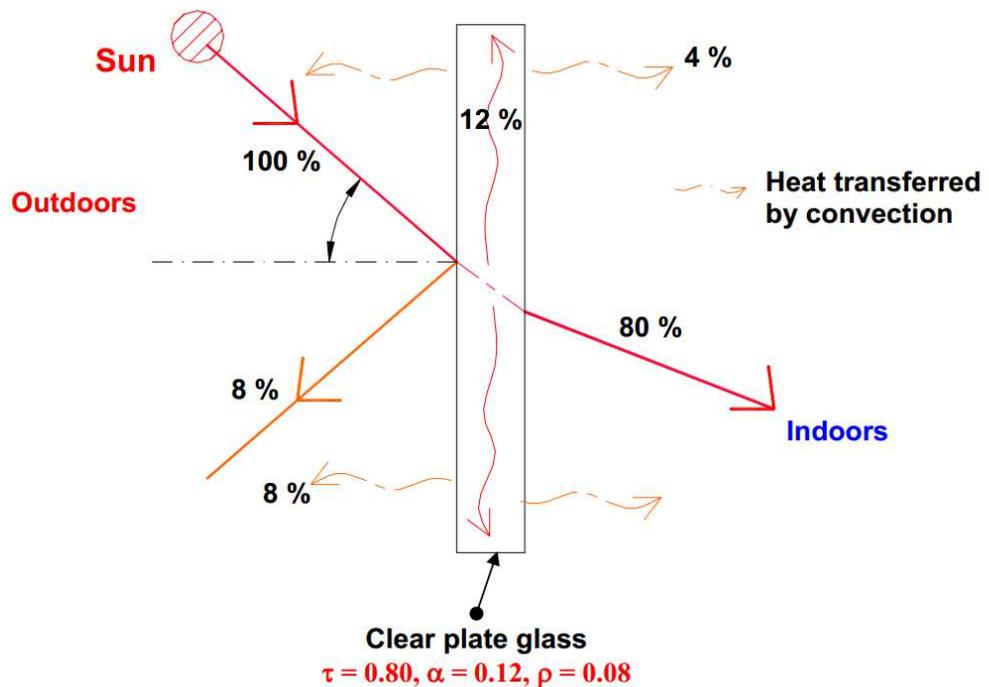
Fonte: Apostila Refrigeração SENAI, 2014

Como mostrado na Figura 4, as propriedades de um vidro simples transparente para a radiação solar, são: transmissão ( $\tau$ ) = 0,80, reflexão ( $\rho$ ) = 0,08 e absorção ( $\alpha$ ) = 0,12. Assim dos 100% da radiação solar incidente sobre o vidro, 80% é diretamente transmitida para o interior do ambiente. 12% é absorvida pelo vidro (o que aumenta a temperatura do vidro) e os restantes 8% é refletida de volta para o exterior. Dos 12% absorvidos pelo vidro, o que eleva sua temperatura, cerca de 4% é transferido para o interior por transferência de calor por convecção e os 8% restantes são perdidos para o exterior por convecção e radiação. Constata-se que de 100% da radiação, 84% desta é transmitida para o interior do edifício se for

utilizado somente um vidro simples e sem cortinas com as qualidades descritas. Para outros tipos de vidro, os valores serão diferentes.

Figura 4 – Propriedades de radiação de vidro simples transparente sem cortinas

N = Fraction of absorbed radiation transferred to the indoors by conduction and convection



Fonte: IIT Kharagpur, 2014

A radiação solar através desta superfície poderá ser calculada assumindo a mesma quantidade de transmissão e absorção para as componentes: direta, difusa e refletida de radiação (IIT Kharagpur, 2014):

$$Q_{sg} = A (\tau \cdot I_t + N \cdot \alpha \cdot I_t)$$

onde

**A** = Área exposta a radiação

**I<sub>t</sub>** = Total de radiação incidente

**τ** = Transmissão de radiação direta, difusa e refletida

**α** = Absorção de radiação direta, difusa e refletida

Para a continuação dos cálculos de carga térmica será necessária uma referência de radiação solar incidente,  $I_t$ . Para fins de cálculo, se adotou a cidade de Porto Alegre como parâmetro. Através do site da NASA, é possível pesquisar, através da latitude e longitude informadas, a radiação média de qualquer lugar de nosso planeta (NASA, 2014).

Foram informadas as posições aproximadas de Porto Alegre e obtidos os seguintes parâmetros (Figura 5). Do banco de dados da NASA, obtém-se para Porto Alegre uma radiação solar média ao ano de aproximadamente 4,35KWh/m<sup>2</sup>/d.

Figura 5 – Parâmetros de radiação solar média da cidade de Porto Alegre

<a href="#">SSE Homepage</a> <a href="#">Find A Different Location</a> <a href="#">Accuracy</a> <a href="#">Methodology</a> <a href="#">Parameters (Units &amp; Definition)</a>								
		NASA Surface meteorology and Solar Energy: <a href="#">RETScreen Data</a>						
Latitude -30 / Longitude -51 was chosen.								
			Unit	Climate data location				
Latitude			°N	-30				
Longitude			°E	-51				
Elevation			m	326				
Heating design temperature			°C	9.48				
Cooling design temperature			°C	28.26				
Earth temperature amplitude			°C	8.91				
Frost days at site			day	0				
Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	23.4	72.6%	5.91	97.4	1.9	24.1	0	419
February	23.4	73.7%	5.32	97.6	1.8	23.9	0	380
March	22.7	73.0%	4.74	97.7	1.7	23.1	0	397
April	20.6	72.6%	3.66	97.8	1.6	20.7	6	320
May	17.5	71.6%	3.01	98.0	1.7	17.5	43	238
June	16.0	70.4%	2.50	98.1	1.5	15.7	72	189
July	15.3	69.4%	2.71	98.2	1.7	15.1	96	173
August	16.6	66.4%	3.40	98.1	1.9	16.5	68	213
September	17.4	68.3%	4.01	98.0	2.1	17.7	50	223
October	19.2	70.0%	4.90	97.8	2.1	19.6	18	291
November	20.9	68.6%	5.83	97.6	2.0	21.4	5	329
December	22.5	68.7%	6.16	97.4	2.0	23.2	0	392
<b>Annual</b>	19.6	70.5%	4.35	97.8	1.8	19.9	358	3564
Measured at (m)					10.0	0.0		

Fonte: NASA, 2014

Sob circunstâncias estáveis de estado, a fração  $N$  de radiação solar transmitida para o interior do ambiente é igual a:

$$N = \frac{U}{h_o}$$

onde

$N$  = Fração de radiação solar transmitida para o interior

$U$  = Coeficiente Global de transmissão de calor

$h_o$  = Coeficiente externo de transferência de calor

O valor  $U$  informado anteriormente é de 1,7 W/m<sup>2</sup>K. O valor de coeficiente externo de transferência de calor pode ser calculado através da seguinte equação (MIRSADEGHI, 2013):

$$h_o = \frac{q_c}{T_s - T_a}$$

onde

$q_c$  = Fluxo convectivo de calor

$T_s$  = Temperatura de superfície do vidro

$T_a$  = Temperatura do ar

O coeficiente externo de transferência de calor é influenciado por vários fatores, tais como a geometria do edifício, a rugosidade da superfície de construção, a velocidade do vento, a direção do vento, padrões de fluxo de ar local e as diferenças de temperatura do ar. Em áreas urbanas os padrões de fluxo de ar em torno de um edifício dependem fortemente da disposição e da geometria dos edifícios vizinhos. Isto influencia fortemente o índice  $h_o$ .

Das equações anteriores, é possível reescrever que a transferência de calor final através do vidro e cortina será dada por:

$$SHGF = \left[ I_t \left( \tau + \frac{\alpha U}{h_o} \right) \right]$$

Considera-se neste projeto, os índices informados pela planilha VEROSOL ENERGY SAVINGS CALCULATOR, que utilizando-se das características de radiação solar média de Porto Alegre, faz um comparativo de uma situação com cortinas metalizadas e outra sem cortinas (Figura 6):

Figura 6 – Comparativo de uma situação com cortinas metalizadas e outra sem cortinas

**Input data**

**Chosen settings**

Currency **Brazil Real**

Measurement units **Metrical**

Heating Source **Electrical**

**Select Continent, Country and City**

Continent	Country	City
South-America ▼	Brazil ▼	Porto Alegre ▼

**Default area values**

Average solar irradiation per day	4350	Wh/m <sup>2</sup>
Heating Degree Days	358	°C based
Cooling Degree Days	1001	°C based

	Single 6 mm glazing	Single 6 mm glazing + SilverScreen black	<b>Difference</b>	
<b>Glass and shading properties</b>				
<b>g-value (Solar Factor, SHGC)</b>	84	20	<b>64</b>	%
<b>SC (Shading coefficient)</b>	97	23	<b>74</b>	%
<b>Light transmission (LT-value)</b>	89	4	<b>85</b>	%
<b>U-value (heat insulation value)</b>	5,8	1,7	<b>4,1</b>	W/m <sup>2</sup> .K

Fonte: VEROSOL, 2014

O valor final do SHGF, ou também denominado: *g-value*, *Solar Factor* ou ainda *SHGC* é 84% para a situação somente com vidro, e no caso com cortinas metalizadas é de 20%.

Este índice será fundamental para os cálculos finais de redução de consumo energético devido ao uso de cortinas motorizadas acionadas de acordo com cenários pré-estabelecidos conforme proposto neste trabalho.

### 3.2 Cálculo de consumo para refrigeração

Para a determinação do cálculo de consumo energético quanto a refrigeração, adotam-se as seguintes condições de uso:

- 1) O uso do ar condicionado será considerado para o dia inteiro. Como é necessário o valor da radiação solar média dia para a determinação da carga térmica em um dia, e este valor não faz distinção das horas, consideraremos 24h de uso do ar condicionado para a radiação solar média dia.
- 2) A máquina de ar condicionado trabalhará com fator 1:2, onde será necessário 1KW de energia para refrigeração de 2KW que estejam dentro do ambiente.
- 3) Não será levado em consideração nenhuma carga térmica diferente da carga térmica provinda do sol. O calor provocado por pessoas, por iluminação ou outros não será considerado para fins de cálculo.

As equações a seguir serão fundamentais para os cálculos finais de redução de consumo energético. Serão utilizadas para a determinação final de energia e economias que serão geradas quando apresentados os cenários trabalhados:

$$\frac{\text{Carga térmica dia}}{\text{m}^2} = \text{Radiação Solar média dia} \times \text{SCGF}$$

$$\text{Carga térmica ano Prédio} = \frac{\text{Carga térmica dia}}{\text{m}^2} \times 365 \text{ dias} \times \text{área do prédio}$$

$$\text{Energia para refrigeração} = \frac{\text{Carga térmica ano prédio}}{\text{Fator ar condicionado}}$$

Para determinação do custo, será utilizado o seguinte equacionamento:

$$\text{Custo} = \text{Energia para refrigeração} \times \text{Valor KWh}$$

### 3.3 Iluminação

#### 3.3.1 Qualidade da iluminação

Segundo SOUZA (2005), garantir que os níveis de iluminação no ambiente de trabalho sejam adequados contribuirá para um melhor desempenho, aumentará o rendimento no trabalho, a produtividade e a satisfação de todos os usuários daquele ambiente, e contribuirá ainda para a redução no consumo de energia elétrica com iluminação artificial.

Atualmente, a iluminação artificial não se limita ao objetivo de permitir apenas visão em locais com iluminação natural deficitária. Uma boa iluminação significa um conjunto de benefícios para o ser humano. A multinacional nacional holandesa PHILLIPS, relaciona o desempenho do sistema de iluminação com o rendimento de um trabalhador no seu local de trabalho. A empresa, especialista em soluções de iluminação no mundo, afirma que iluminação em bons níveis além de diminuir a possibilidade de erro ou acidente, diminui a fadiga e exerce uma boa influência sobre a motivação do trabalhador, melhorando o ambiente de trabalho.

A qualidade da iluminação nos postos de trabalho pode ter um efeito significativo na produtividade da organização. Certos estudos científicos, como BAUMER, 2004, estimam que o incremento de produtividade se situa normalmente no intervalo 10% a 50% quando se intervém na melhoria das condições de iluminação numa situação em que as condições de partida não são favoráveis. O nível e a qualidade de iluminação necessária dependem de vários fatores, onde são listados: a natureza da tarefa, a acuidade visual de cada trabalhador e o ambiente onde a atividade é realizada.

A iluminação natural, adequadamente inserida em um projeto, pode alcançar a iluminância exigida em até 80-90% das horas de luz natural disponível. Isto permite a economia de uma parcela considerável da energia que, de outra forma seria consumida com iluminação artificial.

Um exemplo de projeto, que fez bom uso de iluminação natural, é o Aeroporto Washington Dulles, nos EUA. Com uma incrível área de vidros revestindo o aeroporto, este projeto foi concebido para aproveitar a maior parte da luz natural possível ao longo do dia. Na Figura 7 nota-se que a edificação não faz uso de iluminação artificial no teto, devido a ótima entrada de luz natural.

Outro exemplo, no College La Vanoise, em Modane, sudoeste da França, mais de 70% das necessidades de iluminação da escola, entre às 9 e 17 horas são atendidas pela iluminação natural. Com exemplos de aplicação de dispositivos que buscam atuar na obtenção de luz natural para dentro de escolas, escolas da Carolina do Norte, nos Estados Unidos atingiram consumos da ordem de 22 a 64% quando comparadas a escolas da mesma região que não utilizam estes artifícios (SOUZA, 2005).

Figura 7 – Edificação projetado para melhor uso da iluminação natural





Fonte: WIKIPEDIA, 2014

Mesmo ambientes que possuam uma boa entrada de luz, se não possuírem um controle eficiente do acendimento das lâmpadas, podem ter uma boa entrada de iluminação natural mas ainda estar consumindo energia para a sua iluminação artificial caso os usuários não façam um esforço em desligar as lâmpadas quando estas não são necessárias.

Um controle automático do acender e apagar das luzes, combinado com um controle eficiente da possibilidade de entrada de maior ou menor quantidade de luz natural fará com que o ambiente alcance um índice significativo de redução de consumo energético.

O ingresso e a distribuição de luz natural dependem diretamente das características relacionadas a janela. Características tais como formato da janela, vidro utilizado, orientação solar da janela, tamanho da janela entre outros pontos são fundamentais para a quantidade e qualidade de luz natural possível.

Outros fatores como a refletância das superfícies do ambiente interno são da mesma forma significativos para a iluminação interna.

### **3.3.1.1 Determinação mínima e máxima pela NBR 5413 – Iluminância de interiores**

Conforme a Tabela 2, a NBR 5413 determina os valores médios mínimos de iluminâncias em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

Para este projeto, será adotado como ambiente de trabalho um escritório comum onde sua iluminância deverá ficar na faixa de 500 a 1000 lux.

Tabela 2 – Iluminância por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT NBR 5413

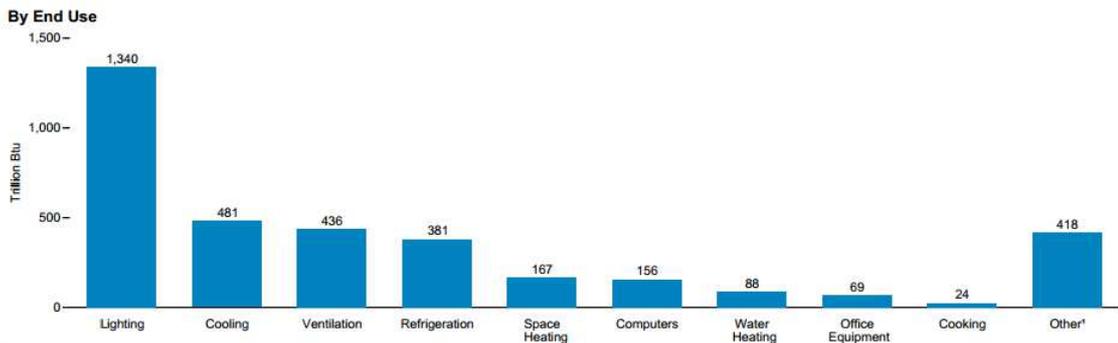
### 3.3.2 Consumo de energia para iluminação no mundo

Para ser possível identificar qual é a possibilidade de redução de consumo energético em sistemas de iluminação, primeiramente deve-se verificar o comportamento do consumo de energia elétrica em edificações. Apresentam-se a seguir algumas informações a respeito do uso final e do consumo em edificações para alguns países além do Brasil.

Segundo relatório da EIA, Energy Information Administration, órgão americano independente de pesquisas relacionadas a consumo e produção de energia elétrica, em 2012, aproximadamente 40% de toda a energia nos Estados Unidos da América, EUA, foi consumida por edificações comerciais e residenciais (EIA, 2014).

Com base em relatório de uso final de energia da EIA de 2003, é possível compreender que dentro do consumo da edificação nos EUA, a iluminação representa o maior item de consumo, superior até mesmo a refrigeração (Figura 8).

Figura 8 – Consumo de energia elétrica em uma edificação



Fonte: EIA, 2014

Além dos EUA, outros países fornecem informações a respeito do consumo de energia em edificações. Segundo a Korean National Team (1996) a iluminação representa 20% de toda energia consumida no país. A iluminação representa 30% de toda a energia consumida no país no México (SERVELIN, 2002).

No Brasil, um estudo da Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, realizado no ano de 1993 revelou que o consumo energético brasileiro para iluminação artificial não é muito diferente do restante do mundo. Em uma comparação de edifícios com e sem ar condicionados, foi constatado o relevante percentual que a iluminação artificial representa no consumo (Tabela 3):

Tabela 3 – Usos finais para edificações com e sem ar condicionado no Brasil

Usos finais (%)	Edifícios com ar condicionado	Edifícios sem ar condicionado
Ar condicionado	48	-
Iluminação	24	70
Equipamentos de escritório	15	16
Elevadores e bombas	13	14

Fonte: GHISI, 1997

### 3.3.3 Calor gerado por iluminação artificial

O calor gerado pelas lâmpadas pode contribuir para o ganho de calor, aumentando a carga dos sistemas de resfriamento de ar. Ambientes com níveis extremamente altos de iluminação artificial podem requerer sistemas de resfriamento de ar aumentando assim o uso de energia na mesma. Segundo GHISI (1997), existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminação necessária, da mesma forma, existem poucas edificações em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminância do ambiente.

A quantidade de carga térmica que será adicionada ao prédio devido a necessidade da iluminação artificial é diretamente dependente do tipo de iluminação, no tipo de luminária, quantidade de lâmpadas espalhadas pelo ambiente assim como o tempo que esta iluminação artificial permanece acesa.

Este projeto visa oferecer a menor interferência possível em termos de estrutura. Para tanto, oferecerá solução direta no tempo que a iluminação artificial ficará acesa visando utilizar o maior tempo possível a iluminação natural. Busca-se neste projeto, uma redução mínima na ordem de 20% no consumo de energia elétrica devido ao menor uso da iluminação artificial.

### 3.3.4 Determinação de luminárias utilizadas

Será utilizado neste projeto como parâmetro de iluminação luminárias de reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes tubulares, sendo que nesta luminária haverá duas lâmpadas tubulares, cada uma com 40W. Este modelo de iluminação apresenta baixo consumo de energia e tem largo uso em Bancos, Indústrias, Shopping Centers e edificações comerciais (Tabela 4) (PHILLIPS, 2014).

Tabela 4 – Estimativa de luminárias necessárias para iluminação artificial no projeto

Quantidade de luminárias por andar	56
Quantidade de andares	12
Quantidade total de luminárias	672

### 3.3.5 Cálculo de consumo para iluminação

Para a determinação do cálculo de consumo energético quanto a iluminação, será adotado o seguinte equacionamento:

$$\text{Energia} = \text{Qtd de luminárias} \times \text{Qtd de andares} \times \text{Qtd horas utilizadas} \times \text{Potência lâmpada}$$

Para determinação do custo, será utilizado o seguinte equacionamento:

$$\text{Custo} = \text{Energia} \times \text{Valor KWh}$$

A utilização destas equações de consumo energético para iluminação se dará no momento em que for realizado as comparações entre cada cenário proposto para a utilização das cortinas motorizadas

## 4. DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

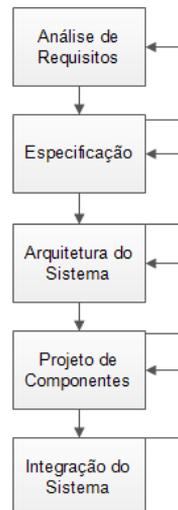
Para a criação do protótipo, foi adotada a utilização de sistema embarcado para execução de atividades de controles propostas. Foi adotada a linguagem C++ para programação devido à grande possibilidade de, futuramente, utilizar outro microcontrolador (MCU) para rodar o programa. Em um primeiro momento fatores como velocidade de processamento não foram levados em consideração, e poderão a vir serem importantes em um segundo momento. Com a utilização da linguagem C++ a troca de MCU se dará de uma forma mais simples devido a imensa utilização da linguagem por parte de outros programas sendo possível assim aumentar a facilidade de integração com outros programas da mesma forma.

Como plataforma de implementação inicial, foi escolhida a plataforma ARDUÍNO UNO. Esta plataforma teve como atrativos a sua biblioteca de funções, sua facilidade de iteração e da mesma forma por ter uma maior abundância de projetos e desenvolvimentos disponíveis para fácil análise.

As aplicações de estímulos para obtenção de respostas em tempo real em sistemas embarcados exigem características como confiabilidade, restrições de tempo real,

tamanho do código, desempenho, baixo consumo de potência e energia. Estas características devem ser consideradas no desenvolvimento deste sistema embarcado. Para lidar com essas restrições na construção são utilizadas as linguagens de modelagem de alto nível de abstração. Sendo assim, o projeto deste sistema embarcado parte de uma visão abstrata e ao longo do desenvolvimento são feitos refinamentos até o produto finalizado.

Figura 9 – Fluxo de desenvolvimento do sistema embarcado



Fonte: autor do trabalho

O projeto do sistema embarcado envolve etapas com diferentes níveis de abstração, conforme o fluxo ilustrado na Figura 9:

Análise de requisitos: Definição dos requisitos do sistema

Especificação: Detalhamento das funcionalidades do sistema

Arquitetura do sistema: Detalhamento interno do sistema, bem como os componentes que compõem o sistema

Projeto de componentes: Projetar os componentes do sistema

Integração do sistema: Integração dos componentes desenvolvidos para o sistema e a validação dos mesmos.

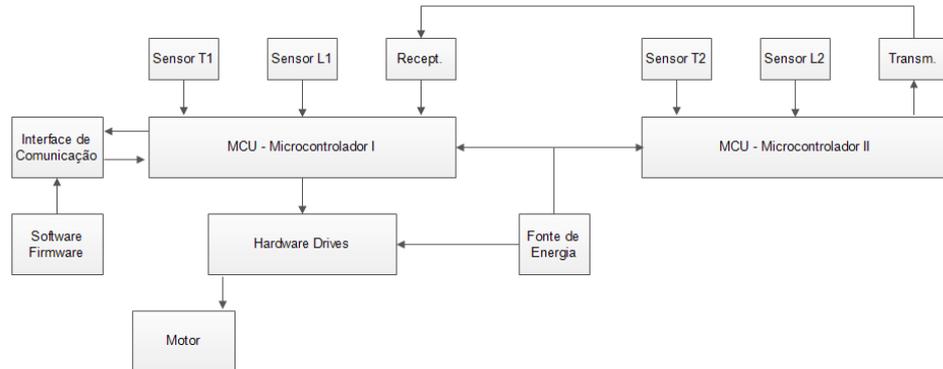
#### **4.1 Especificações do Hardware**

O dispositivo proposto possui sistema embarcado. Para uma melhor descrição do sistema foi desenvolvido um diagrama de blocos, Figura 10. O objetivo deste diagrama é representar de forma gráfica o processo e o modelo do sistema. Através de figuras geométricas e conexões, descrevem-se as relações entre cada subsistema e o fluxo de informação. O protótipo do hardware do sistema atualmente é composto de Sensores de temperatura internos e externos ao ambiente, sensores LDR (resistor dependente de luz) internos e externos ao ambiente, e sistema driver e motor para atuação no acionamento das cortinas.

#### **4.2 Diagrama de blocos do projeto**

O tratamento das informações captadas e transmitidas pelos sensores é processado através de dois microcontroladores, dotados de algoritmo de controle para ativar os atuadores de som e motor. Os MCU terão o principal papel de comparação entre as situações climáticas internas e externas. Os sensores estimulam os atuadores indicando a situação luminosa e térmica atual do ambiente. A temperatura e a intensidade de luz são processadas e comparadas, necessidade de atuação do motor para acionamento da cortina é confirmada pelo cálculo comparativo que informa que determinados níveis de conforto foram ultrapassados. Assim o usuário do dispositivo não precisa verificar constantemente se a situação de luz e calor lhe é confortável e as informações recebidas dos atuadores otimizarão o sistema e prédio como um todo promovendo uma sensível redução de consumo de energia.

Figura 10 - Representação gráfica do processo e modelo do sistema

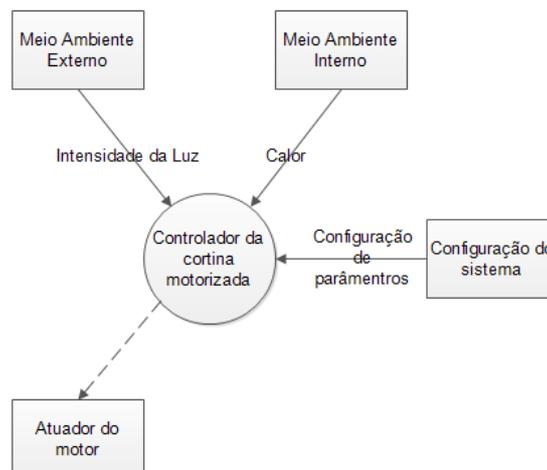


Fonte: autor do trabalho

### 4.3 Diagrama de Fluxo de Dados

Os requisitos do projeto são apresentados por Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) que mostram como os dados são processados pelo sistema (Figura 11):

Figura 11 – Diagrama de Fluxo de Dados



Fonte: autor do trabalho

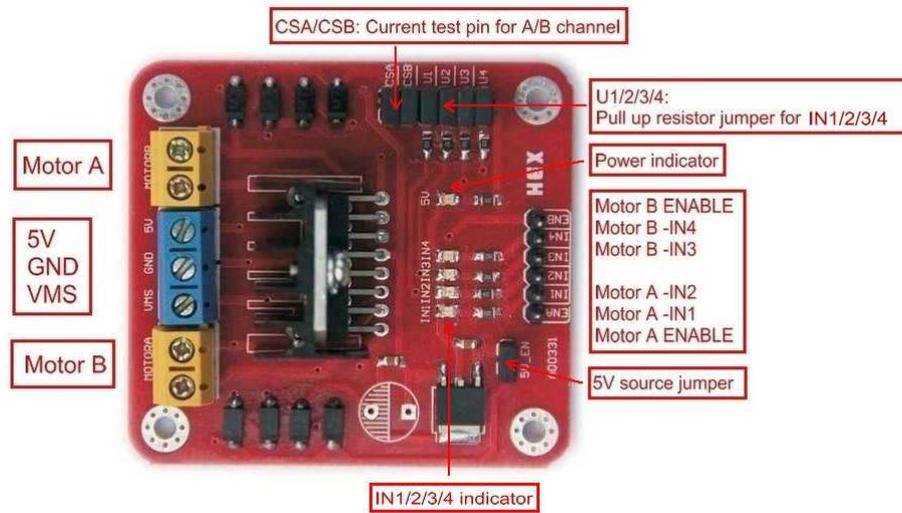
O protótipo é um trabalho de hardware e software baseados em plataformas flexíveis open-source para seu desenvolvimento. Para a construção do projeto proposto será utilizado inicialmente o micro controlador ATMEL AVR – da plataforma de prototipagem Arduíno Uno. A escolha se deu por uma combinação de fatores: baixo preço, comunidade de desenvolvedores, tempo de desenvolvimento, programação e a facilidade de encontrar o Circuito Integrado (CI) no mercado.

Ter um modelo de requisitos e um diagrama estruturado ajuda a assegurar que todos os requisitos são alocados aos componentes da arquitetura do sistema, que leva a apresentar uma situação do ponto de vista dos dados. Os usuários obtêm uma ideia mais clara do sistema proposto pelo diagrama de fluxo de dados, do que a obtida através de narrativa e Fluxograma de sistemas físicos. A apresentação em termos de fluxo lógico consegue esclarecer mal-entendidos e pontos controversos.

#### **4.4 Driver para acionamento do motor da cortina**

É uma plataforma pronta que faz uso do circuito integrado L298. Um circuito integrado monolítico que opera com tensão, neste caso com 24Vdc e corrente mais elevadas. Ele é composto por uma ponte “H” é projetado para aceitar o motor DC da cortina, cujo detalhamento se encontra no ANEXO D. Ponte H é a denominação de um circuito eletrônico composto por quatro transistores e que tem como objetivo principal controlar o sentido da corrente que circula na carga, desta forma controlando o sentido de rotação de motores DC (Figura 13 e 14) (Tabela 5).

Figura 12 – Driver de controle do motor DC



Fonte: GOOGLE IMAGES

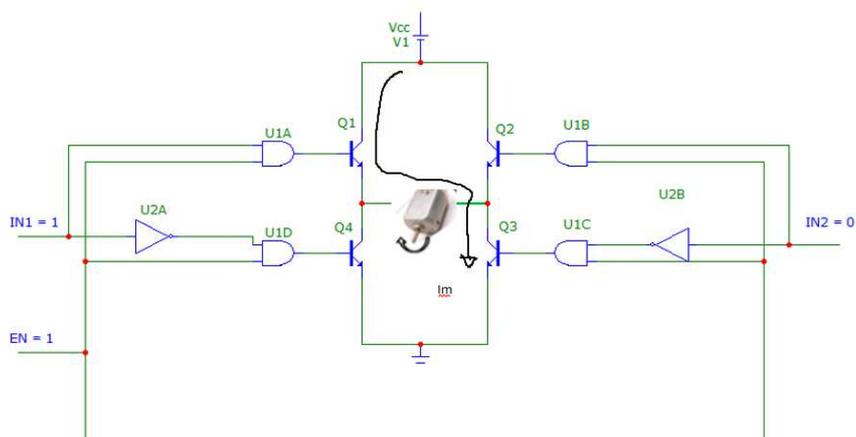
Figura 13 – Trecho de código de acionamento do motor

```
int MotorPin1 = 8;
int MotorPin2 = 9;

pinMode(MotorPin1, OUTPUT);
pinMode(MotorPin2, OUTPUT);
```

Fonte: autor do trabalho

#### 4.5 Esquemático da ponte H do circuito integrado L298



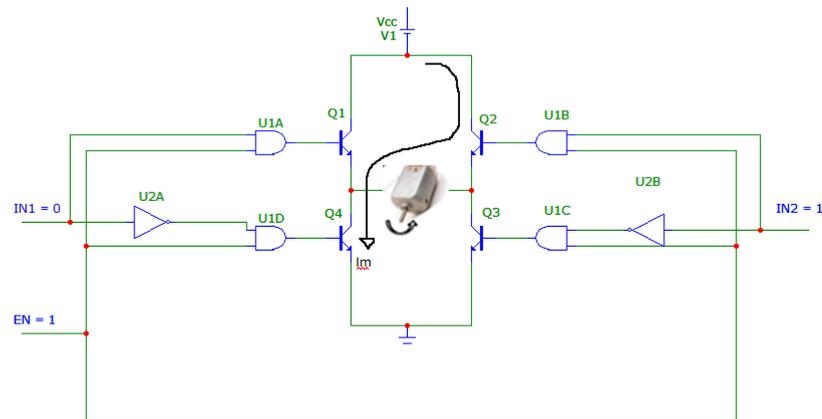


Tabela 5 - Tabela Lógica para o comando do sentido do motor

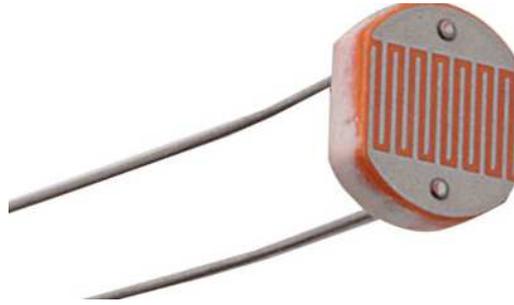
IN1	IN2	Motor
X	X	Parado
0	0	Parado
0	1	Giro sentido anti-horário
1	0	Giro sentido horário
1	1	Parado

Fonte: autor do trabalho

#### 4.6 Sensor de luminosidade - LDR

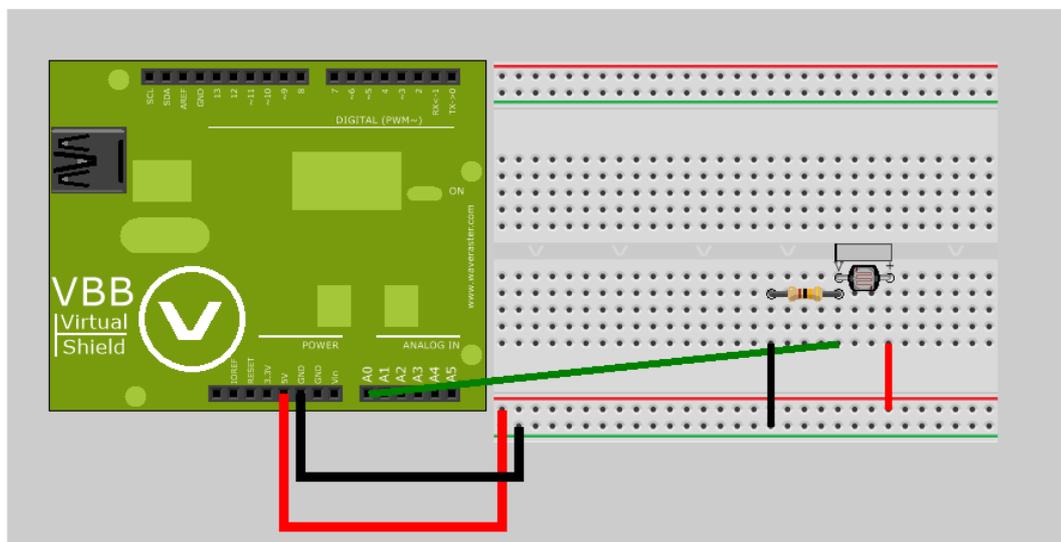
O LDR, (Light Dependent Resistor) possui uma característica que faz com que sua resistência varie conforme a luminosidade incidida sobre ele. Isto possibilita a utilização deste componente para desenvolver um sensor que é ativado (ou desativado) quando sobre ele incidir uma certa luminosidade. A resistência do LDR varia de forma inversamente proporcional à quantidade de luz incidente sobre ele, isto é, enquanto o feixe de luz estiver incidindo sobre ele, o LDR oferece uma resistência muito baixa, e quando este feixe é cortado, sua resistência aumenta (Figura 15).

Figura 14 – Sensor de luminosidade



Fonte: GOOGLE IMAGES

Figura 15 – Esquema de ligação do LDR com arduino



Fonte: autor do trabalho

Para utilização deste sensor, é necessário realizar a leitura de volts de sua porta analógica, disponibiliza-la de forma digital para que então seja transformada em valores digitais e assim compreendidos para futuras verificações e manipulações:

Figura 16 – trecho de código para obtenção de índice luminoso

```
int Sensor1Pin_luz= A1;// Pino analógico onde o sensor está conectado
int Sensor1Data_luz;// Variável que receberá os dados do sensor

pinMode(Sensor1Pin_luz,INPUT);

Sensor1Data_luz = analogRead(Sensor1Pin_luz);
```



Fonte: autor do trabalho

Para utilização deste sensor, é necessário realizar a leitura de volts de sua porta analógica, disponibiliza-la de forma digital para que então seja transformada em valores digitais e transformar a sua leitura em graus Celsius:

Figura 19 – trecho de código para obtenção de índice térmico

```
int Sensor2Pin_temp = A2; //Pino analógico onde o sensor está conectado
int Sensor2Data_temp;// Variável que receberá os dados do sensor
pinMode(Sensor2Pin_temp,INPUT);

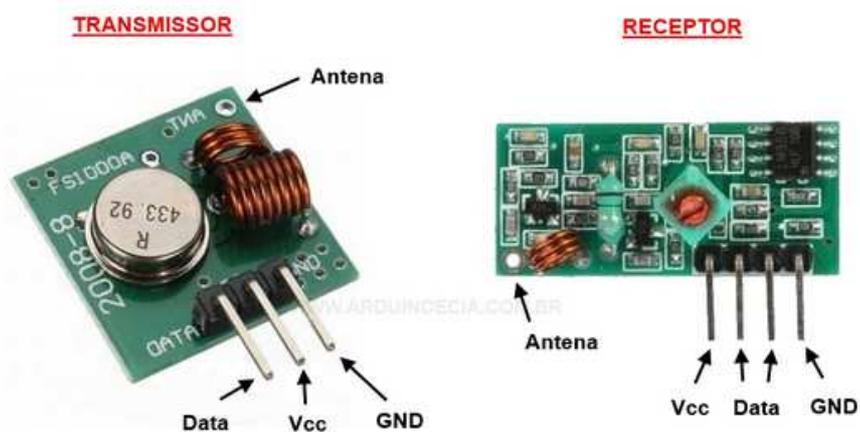
// manipulação da sensor de leitura de temperatura para expressar os volts em graus Celsius
float millivolts = (Sensor2Data_temp / 1024.0) * 5000;
float celsius = millivolts / 10; // saída do sensor é 10mV por graus Celsius
```

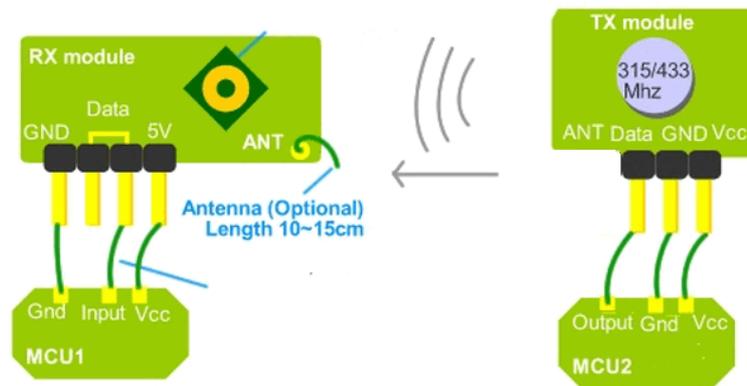
Fonte: autor do trabalho

#### 4.8 Transmissor e Receptor Rádio Frequência – 433Mhz

Os transmissores e receptores são utilizados para a transferência e recepção entre os microprocessadores. O microprocessador que ficará em contato direto com as condições externas de temperatura e luz enviará seus dados através do Pin DATA do transmissor no Microprocessador 1 – MCU1. Sua transmissão se dará na frequência de 433Mhz. A Recepção se dará pelo receptor que estará instalado no Microprocessador 2 – MCU2. As informações ficarão disponíveis nos dois Pin Data do transmissor.

Figura 20 – Conjunto transmissor-receptor de Rádio Frequência





Fonte: GOOGLE IMAGES

#### 4.9 Variáveis utilizadas

Para a programação e acionamento dos motores, foram utilizadas variáveis que tem como função armazenar dados para posterior manipulação.

As informações relacionadas ao **Sensor1** são informações provenientes do transmissor acoplado ao MCU1, e informam os dados de luminosidade de onde estão instalados. Corresponde ao sensor que ficará interno ao ambiente.

As informações relacionadas ao **Sensor2** são informações provenientes do transmissor acoplado ao MCU1, e informam os dados de temperatura de onde estão instalados. Corresponde ao sensor que ficará interno ao ambiente.

As informações relacionadas ao **Sensor3** são informações provenientes do sensor de luminosidade acoplado ao MCU2. Estas informações estão sendo obtidas diretamente e não através de transmissores. Corresponde ao sensor que ficará externo ao ambiente.

As informações relacionadas ao **Sensor4** são informações provenientes do sensor de temperatura acoplado ao MCU2. Estas informações estão sendo obtidas diretamente e não através de transmissores.

Figura 21 – Trecho de código para definição das variáveis A

```

int Sensor1Data_luz;
int Sensor2Data_celsius;
int Sensor3Data_luz;
int Sensor3Pin_luz= A1;           // Pinos onde os sensores estão fixados
int Sensor4Pin_temp = A2;
int Sensor4Data_temp;

```

Fonte: autor do trabalho

Para início das operações com as cortinas é determinada que seja armazenada a informação em formato **String** afirmando que a cortina se encontra no estágio **levantada**, uma vez que sempre será levantada ao anoitecer.

Figura 22 – trecho de código para definição das variáveis B

```
String status_cortina = "levantada";
```

Fonte: autor do trabalho

#### 4.10 Transmissão por RF – Utilização biblioteca VirtualWire

A transmissão dos dados dos sensores de temperatura e luminosidade, se deu pela utilização da biblioteca de programação disponível para plataforma Arduino. Sua utilização foi fundamental para implementar de forma consistente o envio e recebimento de informações. O envio da informação deve utilizar as variáveis **String**, para tanto, as informações obtidas dos sensores foram transformadas em variáveis tipo texto através da seguinte função:

### Sprintf()

Figura 23 – trecho de código para envio de dados do transmissor

```

/*.....
ARDUINO EXTERNO
Localizado fora do ambiente - receberá informações de como está
as condições internas do ARDUINO EXTERNO e processará as atuações
do motor das cortinas
.....*/
#include <VirtualWire.h>

```

```

Serial.begin(9600);
// VirtualWire setup
vw_setup(2000); // Bits por seg
vw_set_tx_pin(12); // Seta o Pino Tx - pino 12

void loop() {

sprintf(Sensor1CharMsg, "%d,%d,", Sensor1Data_luz, Sensor2Data_celsius);

vw_send((uint8_t *)Sensor1CharMsg, strlen(Sensor1CharMsg));
vw_wait_tx(); // Espera que toda a mensagem seja enviada

delay(40);

```

Fonte: autor do trabalho

#### 4.11 Recepção por RF – Utilização biblioteca VirtualWire

A recepção dos dados dos sensores de temperatura e luminosidade, se deu pela utilização da biblioteca de programação disponível para plataforma Arduino. A recepção dos dados do sensor do Microprocessador 1 – MCU1, é recebida como variáveis **String**, da mesma forma que foram enviadas. Desta forma, para que seja possível a manipulação dos dados de forma dinâmica, é importante que os mesmos sejam transformados novamente em variáveis **Integer**, variáveis numéricas. Para realizar esta operação é utilizada a função:

**Sscanf();**

Figura 24 – Trecho de código para recepção dos dados por parte do receptor

```

/*.....
Arduino com papel central no controle de atuação dos motores
Seu uso é externo ao ambiente. Compara valores dos sensores
internos que são recebidos utilizando a biblioteca VirtualWire
e atua nos motores de acordo com a melhor configuração de calor e luz
.....*/
#include <VirtualWire.h>

Serial.begin(9600);

vw_setup(2000); // VirtualWire // Inicializa IO e ISR
vw_set_rx_pin(11); // Bits por seg
vw_rx_start(); // Inicia a rodar o PLL receptor

```

```

void loop()
{
  uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
  uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

  if (vw_get_message(buf, &buflen)           //Buscando os dados do Arduino interno
  {
    int i;
    for (i = 0; i < buflen; i++)             // Mensagens sendo recebidas.
    {
      StringReceived[i] = char(buf[i]);      // Completando o array com os dados
    }
  }

  sscanf(StringReceived, "%d,%d",&Sensor1Data_luz, &Sensor2Data_celsius); // Convertendo as Strings em números

```

Fonte: autor do trabalho

#### 4.12 Medições médias – Condição para evitar ruídos

Sabendo que a utilização de sistemas digitais e analógicos combinados é sujeito a ruídos, foi adotado para este projeto metodologia que adquire diversas amostras, realiza suas médias, e só então disponibiliza para o sistema suas informações.

Com o uso das médias, leituras incorretas ou a perda de dados da transmissão/recepção são contornadas.

Figura 25 – Trecho de código para obtenção de médias

```

#define AMOSTRAS 50

int TEMP_VECTOR[AMOSTRAS];
int vetor_luz_interna [AMOSTRAS];
int vetor_luz_externa [AMOSTRAS];
int vetor_temp_interna [AMOSTRAS];
int vetor_temp_externa [AMOSTRAS];
int luz_interna_media = 0;
int luz_externa_media = 0;
int temp_interna_media = 0;
int temp_externa_media = 0;

for (int i=0; i <= AMOSTRAS; i++)
{

```

```

vetor_temp_externa[i] = celsius;

Sensor3Data_luz = analogRead(Sensor3Pin_luz);
vetor_luz_externa [i] = Sensor3Data_luz / 3;

vetor_temp_interna [i] = Sensor2Data_celsius / 100;

vetor_luz_interna [i] = Sensor1Data_luz / 3;

luz_interna_media = luz_interna_media + vetor_luz_interna [i];
luz_externa_media = luz_externa_media + vetor_luz_externa [i];
temp_interna_media = temp_interna_media + vetor_temp_interna [i];
temp_externa_media = temp_externa_media + vetor_temp_externa [i];
}
luz_interna_media = luz_interna_media / AMOSTRAS;
luz_externa_media = luz_externa_media / AMOSTRAS;
temp_interna_media = temp_interna_media / AMOSTRAS;
temp_externa_media = temp_externa_media / AMOSTRAS;

```

Fonte: autor do trabalho

## 4.13 Condições para acionamento dos motores

### 4.13.1 Cenário Noite

Com uso das leituras médias realizadas pelos sensores, inicia-se o processo de controle dos motores buscando a melhor combinação de luz e calor para os usuários.

É considerado que o primeiro estado da cortina será ao iniciar o dia, e, para tanto, as cortinas serão inicializadas com o status **levantada**. É definido como padrão que as cortinas sejam levantadas nos turnos da noite, seu último estado, para renovação de ar, visando uma diminuição da temperatura interna, uma vez que, sob nenhuma circunstância, esta temperatura poderá ser maior que a temperatura externa neste dado momento do dia.



Figura 27 – Trecho de código para levantamento das cortinas durante a manhã (6-10:30 h)

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO MANHÃ - entre 6h e 10h30min////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(((temp_interna_media >= 22) && (temp_externa_media >= 22)) && (status_cortina != "baixada"))
{
digitalWrite(MotorPin1, LOW);
digitalWrite(MotorPin2, HIGH);
delay(10000);
digitalWrite(MotorPin2, LOW);
status_cortina = "baixada";
}

```

Fonte: autor do trabalho

### 4.13.3 Cenário Meio Dia

Espera-se que a medida que o dia passe e se aproxime do meio dia a luminosidade seja mais alta, e desconfortável, assim como é esperado que a temperatura ultrapasse os 24°C, temperatura considerada limite para início da utilização dos condicionadores de ar. Esta condição é duplamente desconfortável para os usuários, além de determinar o maior período de consumo energético.

Figura 28 – Trecho de código para levantamento das cortinas ao meio dia

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO MEIO DIA////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(((luz_interna_media >= 320) || (temp_externa_media > 24)) && (status_cortina != "baixada"))
{
digitalWrite(MotorPin1, LOW);
digitalWrite(MotorPin2, HIGH);
delay(10000);
digitalWrite(MotorPin2, LOW);
status_cortina = "baixada";
}

```

Fonte: autor do trabalho

### 4.13.4 Cenário Final de Tarde

Espera-se que a medida que o dia se aproxime da noite, a luminosidade seja mais baixa, e confortável, assim como é esperado que a temperatura diminua abaixo dos 24°C, favorecendo assim com que a iluminação natural seja novamente utilizada

assim como o desligamento dos condicionadores de ar. Esta condição é duplamente favorável a redução do consumo energético e do conforto dos usuários.

Figura 29 – Trecho de código para levantamento das cortinas ao final de tarde

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO FINAL DE TARDE////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(((luz_externa_media < 130) && (temp_externa_media < 20)) && (status_cortina != "levantada"))
{
digitalWrite(MotorPin1, HIGH);
digitalWrite(MotorPin2, LOW);
delay(10000);
digitalWrite(MotorPin1, LOW);
status_cortina = "levantada";
}

```

Fonte: autor do trabalho

Todas as situações são cobertas pelos quatro cenários descritos. Mesmo que as situações descritas não ocorram na ordem sugerida ou na velocidade pensada. Todas as situações de desconforto e que impliquem na utilização de iluminação artificial assim como condicionadores de ar serão atendidas independente do momento que ocorram. Todas as situações que possibilitarem a utilização de luz natural assim como dispensarem o uso de refrigeração também serão atendidas.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Condições de contorno

Com base na programação efetuada e nos cálculos para obtenção dos índices de transmissão de calor, serão considerados três cenários para a verificação dos cálculos, visando comparar a economia de energia em três situações distintas (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 - Condições de iluminação comum a todas situações

Quantidade de luminárias por andar	56
Quantidade de andares	12
Quantidade total de luminárias	672
Iluminância em serviço	558 lux

Fonte: autor do trabalho

Tabela 7 - Ambiente estudado comum a todas situações

Área (m <sup>2</sup> )	2000
Radiação solar média (Wh/m <sup>2</sup> dia)	4350
Composição	Vidro Simples - 6mm + cortina
Condição de resfriamento ar condicionado*	1:2

*\*para cada 2KW de carga térmica dentro do ambiente, será necessário 1KW de energia para refrigeração*

Fonte: autor do trabalho

## 5.2 Determinação de consumo energético e custos quanto a Iluminação e Refrigeração

Apresentam-se a seguir três situações de funcionamento das cortinas ao longo de um ano. Dois cenários são extremos. O primeiro cenário prevê a não utilização completa das cortinas ao longo de todo ano. O único controle solar desta situação seria o vidro de 6mm que é proposto. O segundo cenário prevê a utilização das cortinas de forma ininterrupta durante todo ano. Em nenhum momento a cortina será levantada. O terceiro e último cenário prevê a utilização das cortinas de forma inteligente, fazendo uso do dispositivo criado. As cortinas desta situação serão controladas de acordo com a luminosidade e calor – tanto internos quanto externos ao ambiente.

Para fins de cálculo, e para que possa ser feito uma análise mais imparcial dos dados, não são levados em considerações alguns fatores que teriam certo impacto no consumo energético. Não é feita distinção quanto ao período do ano e quanto a necessidade ou não do uso de refrigeração. Para o uso de refrigeração foi considerado uma radiação solar média dia para a cidade de Porto Alegre e foi adotada esta condição para todos os dias do ano. Mesmo havendo sensoriamento da temperatura na situação que faz uso de cortinas motorizadas controladas por sensores, o uso de refrigeração será considerado igual a situação onde as cortinas não sejam levantadas em momento algum. Convencionou-se que a carga térmica seja a mesma em ambas as situações, uma vez que a refrigeração só será utilizada em casos que a temperatura externa atingir valores acima de 24°C. Muito embora possa existir uma diferença quanto ao tempo que a temperatura interna atinja 24°C em cada uma das situações, arbitra-se como o mesmo tempo.

Não foi realizado nenhum cálculo luminoso quanto a utilização de lâmpadas, sua quantidade e disposição nos ambientes. Foi arbitrado um determinado número

de lâmpadas para uma determinada área. É possível que mesmo havendo a entrada de iluminação natural dentro dos ambientes algumas áreas ainda necessitem da utilização de luz artificial. Esta condição não está sendo considerada em nenhuma das 3 situações propostas a seguir:

**CENÁRIO 1** – Cenário onde as cortinas estão sempre levantadas. Situação extrema onde nenhum usuário baixa as peças independente do calor ou da quantidade de luz. Esta situação favorece, supostamente, a entrada da iluminação natural, dispensando assim o consumo de energia devido a iluminação artificial. De forma prática é sabido que tal situação não seria possível, uma vez que a quantidade luminosa seria excessiva e prejudicaria de forma muito significativa todos os trabalhadores deste ambiente uma vez que o contraste da luz em seus monitores e a em seus olhos causaria tremendo desconforto. Neste caso, a entrada de calor através do vidro atinge seu maior valor, uma vez que sua proteção solar ocorre somente pelo vidro, e este possui baixa propriedade de reflexão. O uso do ar condicionado é considerado (Tabela 8).

Tabela 8 – Cenário 1: cortinas sempre levantadas

Cenário 1 - Cortinas sempre levantadas	
Potência luminária (Watts)	80
Quantidade luminárias	672
Área (m <sup>2</sup> )	2000
Radiação solar média (Wh/m <sup>2</sup> dia)	4350
Composição	Vidro Simples - 6mm + cortina
Valor U - W/m <sup>2</sup> K	5,8
Valor da eletricidade R\$/KWh	0,50
Quantidade de horas dia com iluminação artificial (h)	1
Quantidade de horas mês com iluminação artificial (h)	20
Consumo mês de energia artificial (KW)	1075,2
Consumo ano de energia devido a iluminação (KW)	12902,4
<b>Custo anual de energia devido a iluminação (R\$)</b>	<b>6451,20</b>
Condição de resfriamento	1:2
SHGF (%)	84,00
Quantidade de radiação no interior (Wh/m <sup>2</sup> )	3654
Quantidade de carga térmica no interior do prédio ano (KWh/ano)	2667420
Quantidade de energia necessária para refrigeração (Wh)	1333710
<b>Custo de energia anual devido a refrigeração (R\$)</b>	<b>666855,00</b>
<b>Custo total de energia de ilum. E refrigeração ano (R\$)</b>	<b>673306,20</b>

Fonte: autor do trabalho

**CENÁRIO 2** – Cenário onde as cortinas estão sempre baixadas. Situação extrema onde nenhum usuário levanta as peças independente do calor ou luminosidade. Esta situação atua de forma satisfatória a maior parte do tempo quanto o controle de calor, uma vez que uma menor quantidade de carga térmica será transferida para o interior do prédio. Esta situação é desfavorável para a iluminação. Com as cortinas baixadas em tempo integral será necessário durante a maior parte do dia a utilização da iluminação artificial. Para fins de cálculo, foi considerado que desta forma a iluminação ficará ligada por 8 horas diárias (expediente normal de trabalho) (Tabela 9).

Tabela 9 – Cenário 2: cortinas sempre baixadas

Cenário 2 - Cortinas sempre baixadas	
Potência luminária (Watts)	80
Quantidade luminárias	672
Área (m <sup>2</sup> )	2000
Radiação solar média (Wh/m <sup>2</sup> dia)	4350
Composição	Vidro Simples - 6mm + cortina
Valor U - W/m <sup>2</sup> K	1,7
Valor da eletricidade R\$/KWh	0,50
Quantidade de horas dia com iluminação artificial (h)	8
Quantidade de horas mês com iluminação artificial (h)	160
Consumo mês de energia artificial (KW)	8601,6
Consumo ano de energia devido a iluminação (KW)	103219,2
<b>Custo anual de energia devido a iluminação (R\$)</b>	<b>51609,60</b>
Condição de resfriamento	1:2
SHGF (%)	20,00
Quantidade de radiação no interior (Wh/m <sup>2</sup> )	870
Quantidade de carga térmica no interior do prédio ano (KWh/ano)	635100
Quantidade de energia necessária para refrigeração (Wh)	317550
<b>Custo de energia anual devido a refrigeração (R\$)</b>	<b>158775,00</b>
<b>Custo total de energia de ilum. E refrigeração ano (R\$)</b>	<b>210384,60</b>

Fonte: autor do trabalho

**CENÁRIO 3** – Situação onde as cortinas são atuadas pelos sensores que controlam a iluminação e o calor de forma instantânea. Situação ideal onde nenhum usuário baixa ou levanta as peças deixam para o dispositivo criado estes acionamentos. Esta situação favorece a entrada da iluminação natural. Foi arbitrado uma utilização diária de 4 horas de iluminação artificial, nas demais 4h do dia dispensa-se o

consumo de energia devido a iluminação artificial e ao mesmo tempo controle de forma eficaz a temperatura interna do prédio, atuando nas cortinas quando detectadas situações que venham a aumentar a temperatura interna do prédio. Os cálculos abaixo apresentados demonstram de forma clara que haverá impacto significativo (Tabela 10).

Tabela 10 – Condição 3: cortinas motorizadas e controle automático

Cenário 3 - cortinas motorizadas e controle automático	
Potência luminária (Watts)	80
Quantidade luminárias	672
Área (m <sup>2</sup> )	2000
Radiação solar média (Wh/m <sup>2</sup> dia)	4350
Composição	Vidro Simples - 6mm + cortina
Valor U - W/m <sup>2</sup> K	1,7
Valor da eletrecidade R\$/KWh	0,50
Quantidade de horas dia com iluminação artificial (h)	4
Quantidade de horas mês com iluminação artificial (h)	80
Consumo mês de energia artificial (KW)	4300,8
Consumo ano de energia devido a iluminação (KW)	51609,6
<b>Custo anual de energia devido a iluminação (R\$)</b>	<b>25804,80</b>
Condição de resfriamento	1:2
SHGF (%)	20,00
Quantidade de radiação no interior (Wh/m <sup>2</sup> )	870
Quantidade de carga térmica no interior do prédio ano (KWh/ano)	635100
Quantidade de energia necessária para refrigeração (Wh)	317550
<b>Custo de energia anual devido a refrigeração (R\$)</b>	<b>158775,00</b>
<b>Custo total de energia de ilum. E refrigeração ano (R\$)</b>	<b>184579,80</b>

Fonte: autor do trabalho

### 5.3 Resultados Finais de Consumo Energético e Custos quanto a Iluminação e Refrigeração

Com base nos cenários apresentados, foi obtido como resultado final em termos de energia totais os seguintes quantitativos:

Tabela 11 – Resultados de Consumo Energético em cada cenário/ano

	Consumo energético - Iluminação (KW)	Consumo energético - Refrigeração (KW)	TOTAL (KW)
Cenário 1	12902,40	1333710,00	1346612,40
Cenário 2	103219,20	317550,00	420769,20
Cenário 3	51609,60	317550,00	369159,60

Fonte: autor do trabalho

Com base nos cenários apresentados, foi obtido como resultado final em termos de custos financeiros os seguintes quantitativos:

Tabela 12 - Resultados de custos em cada condição/ano

	Custo - Iluminação (R\$)	Custo Refrigeração (R\$)	TOTAL (R\$)
Condição 1	R\$ 6.451,20	R\$ 666.855,00	R\$ 673.306,20
Condição 2	R\$ 51.609,60	R\$ 158.775,00	R\$ 210.384,60
Condição 3	R\$ 25.804,80	R\$ 158.775,00	R\$ 184.579,80

Fonte: autor do trabalho

Os levantamentos realizados permitem observar que a Situação 3, na qual se faz o uso de cortinas motorizados com acionamento inteligente, proporcionou ao final de um ano uma significativa redução de energia, seja pela redução do consumo energético por parte da iluminação, seja por parte da refrigeração.

Atinge-se uma redução de energia de 12,26% quando comparada a situação do uso inteligente das cortinas com a situação onde as cortinas nunca são baixadas.

Atinge-se uma redução de energia de 72,58% quando comparamos a situação do uso inteligente das cortinas com a situação onde as cortinas nunca são levantadas.

#### **5.4 Composição de itens utilizados e custos para dispositivo de controle**

Foi alcançado neste projeto um valor final baixo para implementação de um protótipo do dispositivo (Tabela 13). Tal valor viabiliza sua implementação em termos comerciais, uma vez que as economias geradas, serão significativas no médio longo prazo.

Tabela 13 – Custos para a implementação do protótipo do dispositivo

Relação de itens	Qtde.	Custo Unit.	Total
Plataforma Arduino	2	R\$ 9,82	R\$ 19,64
Driver de controle de motores	1	R\$ 5,62	R\$ 5,62
Módulo de transmissão Recepção RF	1	R\$ 2,60	R\$ 2,60
Protoboard	2	R\$ 3,44	R\$ 6,88
Sensor temperatura - LM35	2	R\$ 1,50	R\$ 3,00
Sensor luminosidade - LDR	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
			<b>R\$ 41,74</b>
Motor cortina	1	R\$ 289,00	R\$ 289,00

Fonte: autor do trabalho

Cada dispositivo criado poderá acionar até duas cortinas motorizadas, limitação imposta pelo driver da cortina motorizada.

## 6. CONCLUSÃO

A adoção dos 3 cenários de utilização de cortinas em edificações não corresponde inteiramente a realidade prática do dia-a-dia das edificações. Uma análise mais próxima da realidade deverá ser levada em consideração:

- 1) As análises de consumo mensal de uma edificação não são padronizadas em um período de 30 dias.
- 2) O consumo de energia elétrica pode ter variação anual devido as variações de temperatura no verão e inverno.
- 3) O consumo de ar condicionado durante o inverno deverá ser considerado com menor valor, admitindo-se que muitas vezes não seja utilizado.
- 4) O levantamento de equipamentos instalados (que gerem calor para o interior) devem ser precisos, para que possa se levar em consideração em seus efeitos para a carga térmica interna.
- 5) A iluminação natural deverá ser sempre controlada, uma vez que a iluminação externa é excessiva em maior parte do dia. Caso não exista qualquer controle da iluminação as pessoas ficarão com intensa claridade no ambiente de trabalho resultando desconforto dentro do ambiente

- 6) A iluminação artificial será sempre necessária. Dentro de edificações, muitas áreas, mesmo que sem qualquer uso de cortina, não recebem iluminação artificial suficiente para favorecer que não sejam utilizadas iluminação artificial. Ambientes distantes das janelas, ou que sejam bloqueados por paredes farão sempre uso de iluminação artificial.

Mesmo considerando as questões acima como as ideais, os cenários criados neste projeto ainda são válidos para que seja possível realizar algumas análises quanto o impacto da utilização de dispositivo para controle inteligente de cortinas.

Foi calculado a ordem de aproximadamente 12% como redução de energia quando comparamos a utilização do controle inteligente de cortinas e a situação onde as cortinas estão sempre baixadas. Num modelo mais próximo do real, a cortinas não poderiam ficar 100% do tempo baixadas e deveriam ser levantadas, talvez, dessa forma, gerando um pouco mais de entrada de iluminação natural e diminuindo a economia calculada, ou talvez, ainda, permitiria ao mesmo tempo a maior entrada de calor se não baixadas no momento correto e aumentaria assim o uso de refrigeração, aumentando assim a economia da situação controlado por sensores em relação a situação de cortinas baixadas.

É possível afirmar que para o menor consumo energético será necessária uma atuação constante nas cortinas. A atuação será diferente para cada época do ano e para cada momento do dia, sempre buscando a melhor situação térmica e luminosa. Muito embora as condições proporcionadas por cortinas e condicionadores de ar visem melhorar o conforto dos usuários, é possível afirmar que os usuários não saibam implementar com exatidão a situação de temperatura e iluminação deve ser implementada para o seu melhor conforto, ou saibam mas não o implementem por demandar continua manipulação das cortinas e condicionadores de ar. Na grande maioria das vezes a iluminação artificial está sempre ligada, e durante períodos quentes o ar condicionado está sempre ligado, independente da temperatura, fazendo, assim, que o consumo energético não seja o ideal.

A utilização de sensores inteligentes para controle de luminoso e térmico se mostrou eficiente para seu propósito.

Em questões de funcionalidade do dispositivo, é sugerida uma futura troca por sensores de maior confiabilidade. Os sensores utilizados neste momento do projeto

tiveram como propósito comprovar a teoria da economia com uso inteligente das cortinas. Sua precisão e confiabilidade não foram levados em consideração. Visando um uso comercial, sua precisão, confiabilidade e duração se tornarão indispensáveis. A programação efetuada para implementação do algoritmo que controla os microprocessadores se demonstrou satisfatória para obtenção da comparação que se desejava. Quando se considera a utilização deste dispositivo para fins comerciais, se torna obrigatória a implementação de diversos pontos não aqui previstos. É necessário um controle eficaz que preveja eventuais quedas de energia, descargas elétricas assim como uma interface amigável que permita a visualização dos valores lidos pelos sensores para a verificação de sua qualidade. Como cada localidade tem sua própria característica de temperatura e luminosidade, será de vital importância que os parâmetros mínimos e máximos possam ser alteráveis. É sugerido para uma nova etapa a comunicação do dispositivo com a WEB para que seja possível alterar estes valores e monitorar os mesmos.

## 7. REFERÊNCIAS

APOSTILA DE CARGA TÉRMICA EM CLIMATIZAÇÃO. Disponível em: <[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/5\\_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf)>. Acesso em: 20 de mai. de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1982.

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER. NASA. Disponível em: <<https://eosweb.larc.nasa.gov>>. Acesso em: 20 de mai. de 2014.

BAUMER, M.R. **Higiene do Trabalho Luminotécnica**, Santa Catarina, 2004. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Sa%FAde/higiene\\_do\\_trabalho\\_luminotecnica.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Sa%FAde/higiene_do_trabalho_luminotecnica.pdf)>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

BBC. BUILDINGS. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/aqa/heatingandcooling/buildingsrev1.shtml>>. Acesso em: 20 de mai. de 2014.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. Eletrobras. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>>. Acesso em: 15 de abr. de 2014.

GERNER, R.G. Coeficiente Global de Transmissão de Calor. Disponível em: <[http://www.sp.senai.br/portal/refrigeracao/conteudo/coficienteglobaltransmiss%C3%A3ocalor\\_u.](http://www.sp.senai.br/portal/refrigeracao/conteudo/coficienteglobaltransmiss%C3%A3ocalor_u.)>. Acesso em: 03 de jun. de 2014.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina.** 1997. 305 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY KHARAGPUR. Lesson 33. Disponível em:<<http://nptel.ac.in/courses/Webcoursecontents/IIT%20Kharagpur/Ref%20and%20Air%20Cond/pdf/R&AC%20Lecture%2033.pdf>>. Acesso em: 10 de jun. de 2014.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>. Acesso em: 06 de mai. de 2014.

MELO, A.P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais.** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MIRSADEGHI M., CÓSTOLA D., BLOCKEN B., HENSEN J.L.M. Review of external convective heat transfer coefficient models in building 2 energy simulation programs: implementation and uncertainty. **Applied Thermal Engineering**, v. 56, n. 1-2, p. 134-151, July 2013.

PHILLIPS, 2014. Disponível em: <[http://www.lighting.philips.com.br/application\\_areas/industry/light\\_and\\_productivity.wpd](http://www.lighting.philips.com.br/application_areas/industry/light_and_productivity.wpd)>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

SENAI. Apostila no portal Senai, Disponível em <[http://www.sp.senai.br/portal/refrigeracao/conteudo/coficienteglobaltransmiss%C3%A3ocalor\\_u.pdf](http://www.sp.senai.br/portal/refrigeracao/conteudo/coficienteglobaltransmiss%C3%A3ocalor_u.pdf)>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

SERVELIN, S. **Melhoria da eficiência luminosa: estudo de caso do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, CEFET-PR, unidade de Curitiba.** 2002. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SOUZA, A.P.A. **Uso da Energia em Edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais.** 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Disponível em:<<http://www.eia.gov/>>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

VEROSOL. Saving Calculators. Disponível em:<[http://www.verosol.com/savings-calculator/index\\_au.html](http://www.verosol.com/savings-calculator/index_au.html)>. Acesso em: 15 de jun. de 2014.

WIKIPEDIA. Washington Dulles International Airport. Disponível em:<[http://en.wikipedia.org/wiki/Washington\\_Dulles\\_International\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/Washington_Dulles_International_Airport)>. Acesso em: 25 de mai. de 2014.

## 8. ANEXO A - Componentes de Hardware

Componentes utilizados no projeto:



Plataforma Arduino Uno

(duas unidades)



Driver de controle para motor de cortina

(uma unidade)



Módulo Transmissão/Recepção RF

(uma unidade)



Motor para cortina 0,8Nm

(uma unidade)



Protoboard

(duas unidades)



Sensor de luz – LDR

(duas unidades)



Sensor de temperatura LM35

(duas unidades)

## 9. ANEXO B – Programação do transmissor

---

Localizado fora do ambiente - receberá informações de como está as condições internas do ARDUINO EXTERNO e processará as atuações do motor das cortinas

```

.....*/
#include <VirtualWire.h>

int Sensor1Pin_luz= A1;// Pino analógico onde o sensor está conectado
int Sensor1Data_luz;// Variável que receberá os dados do sensor
int Sensor2Pin_temp = A2; //Pino analógico onde o sensor está conectado
int Sensor2Data_temp;// Variável que receberá os dados do sensor
char Sensor1CharMsg[21];// A frase que será enviada para o receptor
float millivolts;
float celsius;
int Sensor2Data_celsius;
int ledPin = 13;

void setup() {
  // LED
  pinMode(ledPin,OUTPUT);
  // Sensor(s)
  pinMode(Sensor1Pin_luz,INPUT);
  pinMode(Sensor2Pin_temp,INPUT);

  Serial.begin(9600);
  // VirtualWire setup
  vw_setup(2000); // Bits por seg
  vw_set_tx_pin(12);// Seta o Pino Tx - pino 12
}

void loop() {
  // leitura e armazenamento dos dados
  Sensor1Data_luz = analogRead(Sensor1Pin_luz);
  Sensor2Data_temp = analogRead(Sensor2Pin_temp);
  // manipulação da sensor de leitura de temperatura para expressar os volts em graus Celsius
  float millivolts = (Sensor2Data_temp / 1024.0) * 5000;
  float celsius = millivolts / 10; // saída do sensor é 10mV por grau Celsius
  int Sensor2Data_celsius = celsius*100;
  sprintf(Sensor1CharMsg, "%d,%d,", Sensor1Data_luz, Sensor2Data_celsius);

  Serial.print(Sensor1CharMsg);
  Serial.println();
  delay(1000);
  vw_send((uint8_t *)Sensor1CharMsg, strlen(Sensor1CharMsg));
  vw_wait_tx(); // Espera que toda a mensagem seja enviada
  delay(40);
}

```

## 10.ANEXO C – Programação do receptor

```

/*.....
Arduino com papel central no controle de atuação dos motores
Seu uso é externo ao ambiente. Cõmpara valores dos sensores
internos que são recebidos utilizando a biblioteca VirtualWire
e atua nos motores de acordo com a melhor configuração de calor e luz
.....*/

#include <VirtualWire.h>

// Sensores

int Sensor1Data_luz;
int Sensor2Data_celsius;
int Sensor3Data_luz;
int Sensor3Pin_luz= A1; // Pinos onde os sensores estão fixados
int Sensor4Pin_temp = A2;
int Sensor4Data_temp;
int MotorPin1 = 8;
int MotorPin2 = 9;
char StringReceived[22]; // Linha que apresenta todos os resultados do emissor
String status_cortina = "levantada";

#define AMOSTRAS 50

int TEMP_VECTOR[AMOSTRAS];
int vetor_luz_interna [AMOSTRAS];
int vetor_luz_externa [AMOSTRAS];
int vetor_temp_interna [AMOSTRAS];
int vetor_temp_externa [AMOSTRAS];
int luz_interna_media = 0;
int luz_externa_media = 0;
int temp_interna_media = 0s;
int temp_externa_media = 0;

void setup() {

pinMode(Sensor3Pin_luz,INPUT);
pinMode(Sensor4Pin_temp,INPUT);
pinMode(MotorPin1, OUTPUT);
pinMode(MotorPin2, OUTPUT);

Serial.begin(9600); // VirtualWire // Inicializa IO e ISR
vw_setup(2000); // Bits por seg
vw_set_rx_pin(11);
vw_rx_start(); // Inicia a rodar o PLL receptor

} // END void setup
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void loop()
{
uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

if (vw_get_message(buf, &buflen) //Buscando os dados do Arduino interno
{
int i;
for (i = 0; i < buflen; i++) // Mensagens sendo recebidas.
{
StringReceived[i] = char(buf[i]); // Completando o array com os dados
}
}
// leitura e armazenamento dos dados
Sensor3Data_luz = analogRead(Sensor3Pin_luz);
Sensor4Data_temp = analogRead(Sensor4Pin_temp);

// manipulação da sensor de leitura de temperatura para expressar os volts em graus celcius
float millivolts = (Sensor4Data_temp / 1024.0) * 5000;
float celsius = millivolts / 10; // sensor output is 10mV per degree Celsius
int Sensor4Data_celsius = celsius*100;

sscanf(StringReceived, "%d,%d",&Sensor1Data_luz, &Sensor2Data_celsius); // Convertendo as Strings em números

//Serial.print("INTERNO: ");
//Serial.print(StringReceived);
//Serial.println();
//Serial.print("EXTERNO: ");
//Serial.print(Sensor3Data_luz); Serial.print(" , ");Serial.print(Sensor4Data_celsius);
//Serial.println();
//Serial.println();
//Serial.println();
//delay(3000);

```

```

int luz_interna_media = 0;
int luz_externa_media = 0;
int temp_interna_media = 0;
int temp_externa_media = 0;

for (int i=0; i <= AMOSTRAS; i++)
{
    Sensor4Data_temp = analogRead(Sensor4Pin_temp);
    // manipulação da sensor de leitura de temperatura para expressar os volts em graus celcius
    float millivolts = (Sensor4Data_temp / 1024.0) * 5000;
    float celsius = millivolts / 10; // sensor output is 10mV per degree Celsius
    vetor_temp_externa[i] = celsius;

    Sensor3Data_luz = analogRead(Sensor3Pin_luz);
    vetor_luz_externa [i] = Sensor3Data_luz / 3;

    vetor_temp_interna [i] = Sensor2Data_celsius / 100;

    vetor_luz_interna [i] = Sensor1Data_luz / 3;

    luz_interna_media = luz_interna_media + vetor_luz_interna [i];
    luz_externa_media = luz_externa_media + vetor_luz_externa [i];
    temp_interna_media = temp_interna_media + vetor_temp_interna [i];
    temp_externa_media = temp_externa_media + vetor_temp_externa [i];
}

luz_interna_media = luz_interna_media / AMOSTRAS;
luz_externa_media = luz_externa_media / AMOSTRAS;
temp_interna_media = temp_interna_media / AMOSTRAS;
temp_externa_media = temp_externa_media / AMOSTRAS;

Serial.print("luz Int: ");
Serial.println(luz_interna_media);
delay(1000);
Serial.print("luz Ext: ");
Serial.println(luz_externa_media);
delay(1000);
Serial.print("Temp Int: ");
Serial.println(temp_interna_media);
delay(1000);
Serial.print("Temp Ext: ");
Serial.println(temp_externa_media);
delay(1000);

Serial.println();
Serial.println(status_cortina);
Serial.println();
delay(2000);

memset( StringReceived, 0, sizeof( StringReceived)); // Reseta a String recebida

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO NOITE////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if((luz_externa_media <= 10) && (status_cortina != "levantada") && (luz_externa_media != 0))
{
    digitalWrite(MotorPin1, HIGH);
    digitalWrite(MotorPin2, LOW);
    delay(10000);
    digitalWrite(MotorPin1, LOW);
    status_cortina = "levantada";
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO MANHÃ - entre 6h e 10h30min////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(((temp_interna_media >= 22) && (temp_externa_media >= 22)) && (status_cortina != "baixada"))
{
    digitalWrite(MotorPin1, LOW);
    digitalWrite(MotorPin2, HIGH);
    delay(10000);
    digitalWrite(MotorPin2, LOW);
    status_cortina = "baixada";
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////SITUAÇÃO MEIO DIA////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(((luz_interna_media >= 320) || (temp_externa_media > 24)) && (status_cortina != "baixada"))
{
    digitalWrite(MotorPin1, LOW);
    digitalWrite(MotorPin2, HIGH);
    delay(10000);
    digitalWrite(MotorPin2, LOW);
    status_cortina = "baixada";
}

```

```
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////SITUAÇÃO FINAL DE TARDE////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
if((luz_externa_media < 130) && (temp_externa_media < 20)) && (status_cortina != "levantada"))  
{  
digitalWrite(MotorPin1, HIGH);  
digitalWrite(MotorPin2, LOW);  
delay(10000);  
digitalWrite(MotorPin1, LOW);  
status_cortina = "levantada";  
}  
  
} // END void loop  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////
```

## 11.ANEXO D – Características técnicas motor utilizado

  <b>TECHNICAL DATA SHEET</b>			
		30 - 10 - 2008	LW25 DMKI-FPTER1
<b>designation</b>	<b>LW 25 B44 &amp; LW 25 B83</b>		
<b>range</b>	<b>Motor</b>		
<b>FUNCTIONS</b>			
<p>The LW 25 B44 and LW 25 B83 are double output shafts motors, with integrated overtorque limiter, integrated brake &amp; shaft play equalizer</p>			
<b>TECHNICAL SPECIFICATIONS</b>	<b>Units</b>	<b>LW 25 B44</b>	<b>LW 25 B83</b>
Nominal load torque*	(Nm)	0.4	0.8
Nominal stall torque*	(Nm)	0.75	1.1
Maximum stall torque (during 80ms max)	(Nm)	2.5	2.5
Average speed at nominal load (way Up)*	(r.p.m)	40	30
Average speed no load (way Up & Down)*	(r.p.m)	50	50
Maximum continuous current consumption	(A)	0.3	0.47
Maximum starting up current consumption (during 90ms max)	(A)	0.9	0.97
Maximum stall current consumption (during 75ms max)	(A)	1.1	1.2
Motor nominal supply voltage	(Vdc)	24	24
Motor maximum supply voltage	(Vdc)	27	27
Motor minimum supply voltage	(Vdc)	20	20
Maximum off center possibility of output shaft	(mm)	+/- 0.7	+/- 0.7
Maximum running time in blind	(min)	7	7
Dielectric strength with a Safety Extra Low Voltage		III	III
Standards		CE	CE
Supply cable type	(mm <sup>2</sup> )	2 x 0.25	2 x 0.25
Approx. weight	(g)	195	195
US Patents numbers		US 5.857.553 US 5.847.915	US 5.857.553 US 5.847.915
For other countries, please contact us for the patent numbers			

\* Under 24Vdc regulated power supply at 20°C