

hugosimasUNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN  
MESTRADO EM DESIGN DO SETOR DE ARTES COMUNICAÇÃO E DESIGN

HENRIQUE JOSÉ SERBENA

PLATAFORMA DE LUMINÁRIA LED PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

CURITIBA

2013

HENRIQUE JOSÉ SERBENA

PLATAFORMA DE LUMINÁRIA LED PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design, do Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof.Dr. Aguinaldo dos Santos

CURITIBA

2013

Catálogo na publicação  
Fernanda Emanoéla Nogueira – CRB 9/1607  
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR

Serbena, Henrique José  
Plataforma de luminária LED para habitação de interesse social. / Henrique José Serbena. – Curitiba, 2013.  
201 f.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Aguinaldo dos Santos  
Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Artes,  
Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

1. Desenho industrial. 2. Iluminação (Arquitetura e decoração). 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 745.2



Setor de Artes, Comunicação e Design  
Programa de Pós-Graduação em Design

## TERMO DE APROVAÇÃO

**Henrique José Serbena**

### **“Plataforma de Luminária LED para Habitação de Interesse Social”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 28 de fevereiro de 2013.

Prof. Dr.ª Suzana Barreto Martins  
Universidade Estadual de Londrina  
Examinadora externa

Prof. Dr. Alexandre Pelegrini  
Universidade Federal do Paraná  
Examinador interno

Dr. Dioclécio Moreira Camelo  
Universidade Federal do Paraná  
Examinador interno

Prof. Dr. Aguiar dos Santos  
Universidade Federal do Paraná  
Presidente e examinador interno

## RESUMO

Tradicionalmente a conceituação para o design de produtos está direcionada aos processos produtivos e técnicos que visam a fabricação de um produto para seriação. No entanto, estes modelos precisam de uma nova abordagem quando o design do produto não mais está direcionado a idéia física (substancial), mas sim a uma unidade de satisfação do usuário (abstrato). A presente pesquisa pretende demonstrar através de um processo pragmático de design como o resultado final de um produto é condicionado pelo requisitos gerados por um modelo de sistema eco-eficiente que visa atender as unidades de satisfação do usuário desse sistema. O objetivo deste trabalho é investigar recomendações e parâmetros para o desenvolvimento de produtos integrados ao design de sistemas eco-eficientes tendo como estudo de caso o desenvolvimento de um produto para iluminação residencial utilizando a tecnologia LED. A revisão da literatura foi relacionada com conforto lumínico, estratégias do design para sustentabilidade e levantamento do estado da arte da tecnologia LED comercial. O método de estudo de caso analisou as unidades de satisfação de uma família de baixa renda bem como uma empresa do mercado de iluminação. As informações obtidas permitiram modelar conceitos de sistemas eco-eficientes que geraram requisitos para o projeto do produto. Esses requisitos condicionaram o desenvolvimento do produto resultando duas soluções distintas, porém procurando atender as mesmas unidades de satisfação do usuário.

**Palavras-chave:** Design para a Sustentabilidade; Sistema Eco-eficiente, Iluminação LED

## ABSTRACT

*Traditionally the concepts for product design are directed to production processes focus at serial production. However, this model need a new approach when the product design is no longer directed at physical idea (substantial), but directed to supply a unit of user satisfaction (abstract). This research aims to demonstrate through a pragmatic process of design as the result is a product driven by requirements generated in a model of eco-efficient system that aims supply a user satisfaction inside this system. The objective of this study is to investigate parameters and recommendations for the development of integrated products to design eco-efficient systems and as a case study the development of a product for residential lighting using LED technology. The literature review was related luminic comfort, design strategies for sustainability and the summit of comercial LED technology. The method case study examined the satisfaction drives a low-income family as well as a company's lighting market. The information collected pushed a modeling concepts of eco-efficient systems that generate design requirements for the product. These requirements have limited the development of the product resulting in two distinct solutions, but trying to serve the same unit of user satisfaction.*

**Keywords:** *Design for Sustainability, Eco-Efficient System, LED Lighting*

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a meus Pais pela vida,

A meu orientador, Prof. Aguinaldo dos Santos, pela oportunidade e confiança depositada ao logo desta pesquisa,

Ao grupo da Engenharia composto pelo aluno Gustavo Ceschin e Professores João Américo e Ewaldo Mehl no desenvolvimento do produto,

Ao Prof. Dalberto Dias pelo acompanhamento no laboratório de usinagem,

A Nelly Luz Rodriguez Flores pelo incentivo para iniciar esse estudo,

Aos colegas do Núcleo de Design e Sustentabilidade em especial Jucelia Giacomini, Jairo Costa, e André Lucca, pelas dicas e contribuições,

E as minhas “irmãs” de mestrado Carolina Daros e Ivana Marques da Rosa pela amizade, companheirismo e solidariedade traçados durante os últimos anos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Representação do percentual gasto com energia em relação a renda. ....	5
Figura 1. 2: Visão geral do método de pesquisa .....	8
Figura 2. 1: Faixa do espectro eletromagnético da luz visível .....	10
Figura 2. 2: Deslocamento da curva de sensibilidade do olho humano em função da luminosidade. ....	10
Figura 2. 3: Composições das cores luz .....	13
Figura 2. 4: Composições das cores luz .....	13
Figura 2. 5: Diagrama de Kruithof .....	14
Figura 2. 6: Diagrama contendo a curva de sensibilidade circadiana em relação a visão fotópica e escotópica .....	16
Figura 2. 7: Abordagens para o Consumo Sustentável .....	20
Figura 2. 8: Sistemas de iluminação natural .....	23
Figura 2. 9: Estratégias de design para o comportamento sustentável .....	25
Figura 2. 10: Eletricalsemaphore.....	26
Figura 2. 11: Aware Puzzle Switch .....	26
Figura 2. 12: Bacia integrada Carona.....	27
Figura 2. 13: Diagrama de Tukker com os níveis de PSS. ....	29
Figura 2. 14: LED <i>packaging</i> composto por: <i>die</i> (A), lente isolante (B), condutor de conexão (C), cátodo (D), ânodo (E). ....	32
Figura 2. 15: Exemplo de LED THT. ....	33
Figura 2. 16: Exemplo de Power LED e seus componentes.....	33
Figura 2. 17: Relação da temperatura de operação do LED e a vida útil. ....	34
Figura 2. 18: Exemplo de LED com componente de potência embutido.....	36
Figura 2. 19: Exemplo de LED, que necessita do uso do drive. ....	37
Figura 2. 20: Balanço energético das lâmpadas em função de seu funcionamento. ....	39
Figura 2. 21: Substâncias tóxicas presente nos LEDs .....	44
Figura 2.22: Mudança de cor de LED de baixa qualidade após mil horas de uso. ....	46
Figura 2.23: Um lugar que antes não era iluminado. Efeito-rebote da tecnologia. ....	47

Figura 3. 1: Etapas da pesquisa.....	54
Figura 3. 2: Etapas da Análise Estratégica.....	56
Figura 3. 3: Etapas do Projeto Informacional.....	57
Figura 3. 4: Kit com luminárias LED de toque.....	59
Figura 3. 5: Ícones utilizados no desenvolvimento da ferramenta <i>fluxo de atividades</i> .....	59
Figura 3. 6: Etapas do Projeto Conceitual do Sistema.....	61
Figura 3. 7: Etapas do Projeto de Produto.....	62
Figura 3. 8: Análise do estudo de caso.....	64
Figura 3. 9: Etapa de testes e validação.....	65
Figura 4. 1: Valor atribuído ao produto.....	69
Figura 4. 2: Fluxo de material, informação, financeiro e de trabalho da empresa Y.....	70
Figura 4. 3: Mapa do bairro Santa Helena com destaque para a residência deste estudo.....	72
Figura 4. 4: Vista frontal da casa da Sra. Juliana.....	73
Figura 4. 5: Planta da habitação.....	74
Figura 4. 6: Imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam pontos negativos sob o ponto de vista da iluminação.....	77
Figura 4. 7: Imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam pontos positivos.....	78
Figura 4. 8: Desenvolvimento da ferramenta fluxo de atividades.....	83
Figura 4. 9: Medição da luz sobre a mesa do computador realizada com o luxímetro.....	89
Figura 4. 10: Planta da residência com medições do luxímetro em diferentes horários do dia.....	90
Figura 4. 11: Luminárias LED de toque sendo indicada sua utilização. a) Acima do fogão; b) Acima do espelho; c) Aumentado a intensidade de luz do quarto e d) Sobre o teclado do computador.....	92
Figura 4. 12: Luminária de toque instalada acima da pia (imagem da esquerda) e acima do computador (imagem da direita).....	93
Figura 4. 13: conceituação do sistema A.....	97
Figura 4. 14: Conceituação do sistema B.....	98
Figura 4. 15: Conceituação do sistema C.....	99
Figura 4. 16: Digrama de polaridade.....	100
Figura 4. 17: Mapa de sistema A.....	101

Figura 4. 18: Mapa de sistema C .....	102
Figura 4. 19: workshop de criação realizado com designers. ....	104
Figura 4. 20: workshop com o grupo de engenharia.....	105
Figura 4. 21: conceito de funcionamento da proposta selecionada .....	106
Figura 4. 22: Modelo virtual do sistema de iluminação desenvolvido em software 3D. ....	106
Figura 4. 21: Leds de 8, 4 e 2 Watts da SeulSemicon juntamente com dissipador padrão que foram utilizados para desenvolvimento do protótipo.....	107
Figura 4. 22: Impressão 3D do conceito .....	108
Figura 4. 23: Protótipo do sistema de iluminação. ....	109
Figura 4. 24: Modelo do protótipo confeccionado em metal.....	110
Figura 4. 25: Módulo LED para Sistema C.....	112
Figura 4. 26: Indicações da adaptação necessária para o modelo cerâmico.....	114
Figura 4. 27: Molde de gesso completo, contendo as duas partes. ....	115
Figura 4. 28: Fase do desenvolvimento das matrizes. ....	115
Figura 4. 29: Planejamento da usinagem das matrizes no software EdgeCam. ....	116
Figura 4. 30: Usinagem das matrizes. (1) Entrada do bloco retangular de PU na máquina CNC. (2) Usinagem em andamento. (3) Usinagem finalizada com o pré-molde do corpo. (4) Detalhe da usinagem intermediária. ....	117
Figura 4. 31: Peça customizada pela artesã. ....	118
Figura 4. 32: Produto em sua versão final com e sem o difusor. ....	118
Figura 4. 33: Driver desenvolvido para o conjunto de LED .....	119
Figura 4. 34: sensores e componentes que potencializam a capacidade do driver .....	120
Figura 4. 37: À esquerda, teste na esfera branca para determinação do fluxo luminoso e à direita, teste de temperatura do dissipador.....	124
Figura 4. 38: À esquerda teste em esfera branca para determinação do fluxo luminoso, à direita, teste de temperatura do dissipador utilizando o driver desenvolvido durante a pesquisa.....	126
Figura 4. 39: produto em sua fase de uso. ....	129
Figura 4. 40: Módulo móvel em uso. ....	130
Figura 4. 41: Resultados da medição lumínica do sistema com LEDs de potência, obtidos com todos os módulos ligados.....	131
Figura 4. 42: produto confeccionado em cerâmica em sua fase de uso. ....	133
Figura 4. 40: Resultados da medição lumínica do sistema com LEDs de potência, obtidos no quarto 01. ....	134

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2. 1: Associação da cor a significado .....	15
Quadro 2. 2: Associação da cor a significado .....	15
Quadro 2. 3: Comparativo entre as tecnologias para produção da luz branca em LEDs. ....	35
Quadro 2. 4: Vantagens de desvantagens das tipologias do led de potência.....	37
Quadro 2. 5: Comparativo entre as lâmpadas .....	47
Quadro 4. 1: análise SWOT da empresa alvo .....	68
Quadro 4. 2: Iconografia Negativa, relação das necessidades identificadas a partir da realização das técnicas de narrativa e paparazzi. ....	80
Quadro 4. 3: Iconografia Positiva. Relação das necessidades identificadas a partir da realização das técnicas narrativa e etnografia fotográfica. ....	81
Quadro 4. 4: Mapeamento de fluxos de atividades realizadas na família analisada.....	84
Quadro 4. 5: Fluxo de atividades x Tipo de iluminação x Característica da luminária .....	86
Quadro 4. 6: Resultados da medição dos níveis de iluminância na residência. ....	90
Quadro 4. 7: Resumo dos resultados ao atendimento dos requisitos de sistema e de produto. ....	122
Quadro 4. 8: resultados teste laboratório tipo 02 .....	124
Quadro 4. 9: Resultados obtidos com uso dos LEDs Nichia e com o driver desenvolvido.....	126
Quadro 4. 10: Comparação dos resultados utilizando difusor de vidro. ....	127
Quadro 4. 11: Resultados obtidos com o sistema de iluminação com LEDs de potência.....	131
Quadro 4. 12: Resultados obtidos com o sistema de iluminação com LEDs de potência.....	134
Quadro 4. 13: Comparação dos resultados utilizando difusor de vidro. ....	135

## LISTA DE SIGLAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSES - Agência Francesa para Alimentação, Saúde Ambiental e Ocupacional

APO – Avaliação Pós-Ocupação

CAM – Computer Aided Manufacturing

CGCRE – Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro

CNC - Computer Numerical Control

CIE - Comissão Internacional de Iluminação

DfSB – Design For Sustainable Behavior

EERE - Energia Energy Efficiency & Renewable Energy

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FLC – Fluorescente Compacta

FGV – Fundação Getúlio Vargas

HIS - Habitações de Interesse Social

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

LED - Light Emitting Diode

LEDHIS – Led para Habitação de Interesse Social

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

MEPPS – Methodology for Product Service System

MSDS – Método para Design de Sistemas Sustentáveis (Method for System Design for Sustainability)

NEMA – National Electrical Manufacturers Association

ONG - Organização Não Governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL - Programa Nacional de Energia Elétrica

PLC - Power Line Communications

PSS - Sistemas de Produto-Serviço

SMD - Surface-Mount-Device)

THT - Through-Hole-Technology

UFPR – Universidade Federal do Paraná

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>12</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto	1
1.2 Problema	2
1.3 Objetivo	2
1.3.1 Objetivo Geral	2
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Justificativa	3
1.5 Visão geral do método	7
1.6 Limitação	8
1.7 Estrutura da Dissertação	9
<b>2 DESIGN SUSTENTÁVEL ORIENTADO À ILUMINAÇÃO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO</b>	<b>10</b>
2.1 Luz	10
2.2 Conforto Lumínico	11
2.2.1 Aspectos Gerais	11
2.2.2 Cor como elemento de conforto lumínico	12
2.2.2.1 Taxonomia das Cores	12
2.2.2.2 Aspectos psicológicos e simbólicos da cor produzida pela luz	14
2.2.3 Impacto da Iluminação no Ciclo Circadiano	16
2.3 Estratégias para o Design Eco-Eficiente	18
2.3.1 O Conceito de Eficiência Energética e Eco-Eficiência	18
2.3.2 Abordagens para o Consumo Sustentável na Iluminação	19
2.3.2.1 Escolha influenciada	20

2.3.2.2	Escolha editada	22
2.3.2.3	Inovação	22
2.4	LED como uma tecnologia para iluminação com menor consumo energético	31
2.4.1	Breve Histórico	31
2.4.2	Características Técnicas do LED	32
2.4.3	Tipologias do LED	32
2.4.3.1	LEDs de Baixa Potência	32
2.4.3.2	LEDs de Potência	33
2.4.4	Obtenção da luz branca através do uso de LEDs	35
2.4.5	Relação do conjunto de alimentação elétrica do LED	35
2.4.6	Comparações entre o LED e as Tecnologias Atuais de Iluminação	38
2.4.6.1	Diferenças no Consumo de Energia entre as tecnologias	38
2.4.6.2	Impactos Ambientais das Lâmpadas Incandescentes	40
2.4.6.3	Impactos ambientais das Lâmpadas FLC	41
2.4.6.4	Impacto ambiental do LED	43
2.4.6.5	Vantagens e Desvantagens do LED	45
2.4.7	Considerações	48
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>51</b>
3.1	Caracterização do Problema	51
3.2	Seleção do Método de Pesquisa	52
3.3	Visão Geral da Estratégia de Desenvolvimento de Pesquisa	53
3.4	Protocolo da coleta de dados	56
3.4.1	Pré-Desenvolvimento	56
3.4.1.1	Etapa 01 - Análise estratégica da Empresa	56
3.4.1.2	Critério de Seleção da Empresa-Alvo.	56
3.4.1.3	Procedimento da Coleta de Dados	56
a)	Entrevista Semi-estruturada	56
3.4.1.4	Estratégia de Análise	57
3.4.2	Etapa 02 - Projeto informacional	57
3.4.2.1	Critério de Seleção do Público-Alvo.	57
3.4.2.2	Procedimento da Coleta de Dados	57
a)	Entrevista Semi-estruturada	57

b)	Paparazzi	58
c)	Medição Lumínica da Residência	58
d)	Sonda Cultural	58
e)	Mapeamento do Fluxo de Atividades	59
3.4.2.3	Estratégia de Análise	60
a)	Entrevista Semi-estruturada e Paparazzi	60
b)	Sonda Cultural	60
c)	Medição Lumínica da Residência	60
d)	Mapeamento do Fluxo de Atividades	60
3.5	Desenvolvimento	61
3.5.1	Etapa 1 - Projeto Conceitual do Sistema	61
3.5.1.1	Critério de Seleção dos Participantes	61
3.5.1.2	Procedimento para Conceituação do Sistema	61
3.5.2	Etapa 2 - Desenvolvimento do Produto	62
3.5.2.1	Critério de Seleção dos Participantes	62
3.5.2.2	Critério de Seleção dos Materiais	63
3.5.2.3	Procedimentos para Desenvolvimento do Produto	63
a)	Brainwriting 635	63
b)	Modelagem Virtual	64
c)	Prototipagem Rápida e Construção artesanal do Mock-up	64
d)	Prototipagem do Produto	64
3.5.2.4	Estratégia de Análise do Produto ao Sistema de Referência	64
3.6	Fase 3 – Pós-Desenvolvimento	65
3.6.1	Procedimentos para Implementação	65
a)	Teste em Laboratório Creditado	65
b)	Medição Lumínica da Residência	65
c)	Entrevista Semi-estruturada com Usuário	65
3.6.1.1	Estratégia de Análise da Validação	66
c)	Entrevista Semi-estruturada com Usuário:	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS &amp; ANÁLISE</b>	<b>67</b>
4.1	Fase 1 – PRÉ DESENVOLVIMENTO	67
4.1.1	Análise Estratégica da Empresa	67
4.1.2	Etapa 2 – Projeto Informacional	71
4.1.2.1	Características do Uso da iluminação	75

4.1.2.2	Resultados da Técnica Paparazzi	76
4.1.2.3	Análise da Entrevista Semi-Estruturada e Paparazzi	79
4.1.2.4	Resultados do Mapeamento do Fluxo de Atividades	83
4.1.2.5	Resultados da medição da iluminação da residência	89
4.1.2.6	Resultados das Sondas Culturais	92
4.1.2.7	Síntese dos Requisitos para o Produto e Sistema sob a Ótica do Usuário	94
4.2	FASE 2 – DESENVOLVIMENTO	95
4.2.1	Etapa 1 - Conceituação do Sistema Eco-Eficiente	95
4.2.1.1	Definição da Unidade de Satisfação	95
4.2.1.2	Modelagem do Sistema	95
4.2.2	Etapa 2 - Desenvolvimento do Produto Orientado ao Sistema	103
4.2.2.1	Desenvolvimento do Produto orientado ao Sistema A	104
4.2.2.1.1	Workshop com Especialistas	104
4.2.2.1.2	Seleção dos Materiais	107
4.2.2.1.3	Construção do modelo em escala	108
4.2.2.1.4	Construção do modelo físico funcional	109
4.2.2.1.5	Construção do Protótipo	110
4.2.2.1.6	Análise do Produto em relação aos Requisitos do Sistema A e do Usuário	110
4.2.2.2	Desenvolvimento do Produto orientado ao Sistema C	112
4.2.2.2.1	Seleção dos materiais	112
4.2.2.2.2	Processo de Produção do Produto	113
4.2.2.2.3	Desenvolvimento do dispositivo de controle (driver): parâmetros sob a ótica do Design	119
4.2.2.2.4	Análise do Produto em relação aos Requisitos do Sistema C e do Usuário	121
4.3	Fase 3 – PÓS-DESENVOLVIMENTO	123
4.3.1	Análises de Laboratório Creditado	123
4.3.1.1	Produto orientado Sistema A	123
4.3.1.2	Produto orientado Sistema C	125
4.3.2	Teste de Campo: Validação do Produto na Residência do Usuário	128
4.3.2.1	Produto orientado ao Sistema A	128
4.3.2.2	Produto orientado ao Sistema C	132
	Considerações	135

<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>137</b>
5.1	Considerações gerais	137
5.2	Considerações sobre o método de pesquisa	138
5.3	Recomendações para futuras investigações	140
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>142</b>
	<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>149</b>
	APÊNDICES	150
	01 - Termo de Consentimento	150
	Entrevista Semi-estruturada sobre o uso de iluminação na Habitação	151
	Entrevista Semi-Estruturada - Validação do Produto de Iluminação	156
	Visita na Residência para Verificação da Parte Elétrica Instalada	158
	Desenvolvimento de Driver de Controle Orientado a um Sistema	161
	<b>ANEXO</b>	<b>182</b>
	Entrevista Semi-Estruturada para Aplicação nas Empresas	182

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

A Organização das Nações Unidas (ONU a, 2012) afirma que o consumo global de energia deve crescer 33% de 2010 a 2035 onde as emissões de dióxido de carbono relacionadas ao uso da energia podem subir 20%. No entanto, estima-se que o uso das tecnologias eficientes disponíveis pode reduzir o consumo em 14% até 2030.

No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME) realizou a projeção onde até o ano de 2020 haverá um aumento do consumo total de energia de 4,8% ao ano. Para a classe residencial esse aumento é de 6,35%. Porém, o relatório também apresenta que a substituição por equipamentos mais eficientes proporcionará um ganho de eficiência energética na ordem de 3,9% para este setor, equivalente a 6,7 TWh (EPE, 2010).

Esse aumento do consumo de energia é, em grande parte, alavancado pela melhora da economia brasileira que possibilitou à população de baixa renda maior facilidade de acesso ao crédito para aquisição de bens e da casa própria por meio dos planos governamentais de incentivo ao crescimento. Desse modo, mais pessoas da base da pirâmide puderam ascender para uma faixa superior de consumo de bens e serviços, propiciando melhor qualidade de vida. (ERNST & YOUNG a, 2011)

Nesse contexto observa-se uma tendência de crescimento do consumo da energia elétrica, obrigando o governo a estabelecer planos para suprir esta demanda (Bronzatti e Neto, 2008). Uma das estratégias adotadas foi o investimento na construção de novas usinas hidroelétricas, principalmente nos grandes rios da região norte do país, de parques eólicos e construção de termelétricas. Outra medida tomada pelo governo foi o estímulo ao uso eficiente da energia com a criação de planos de eficiência energética como o Programa Nacional de Energia Elétrica – PROCEL e a destinação de parte da verba de arrecadação das distribuidoras de energia em programas educativos (ANEEL, 2008).

Usualmente, a implementação de tecnologias de baixo consumo energético na habitação da população de baixa renda ocorre através da troca por utensílios mais eficientes promovidos pelas agências fornecedoras de energia através dos programas governamentais. No que tange

a iluminação residencial, foco da presente dissertação, esta estratégia se efetivava pela substituição da lâmpada incandescente pela lâmpada fluorescente compacta. Porém, esta medida implica na diminuição da qualidade lumínica na residência.

Nesse contexto, o design pode contribuir para propor um salto tecnológico, saindo do patamar da lâmpada incandescente para um sistema de iluminação residencial utilizando as tecnologias mais avançadas de iluminação que permitem menor consumo de energia e maior maleabilidade projetual, podendo atender de maneira mais satisfatória as demandas do usuário do ponto de vista do conforto lumínico.

## **1.2 Problema**

No âmbito do design sustentável onde há o desenvolvimento de sistemas ecoeficientes que envolvem produto+serviço, defende-se a idéia de realizar o projeto do produto e do serviço simultaneamente. Dentro desta abordagem já existem diversos métodos e ferramentas para efetuar a conceituação como o MEPSS (HALEN et al, 2005) e o MSDS (VEZZOLI, 2008). Porém, esses métodos pouco exploram os apontamentos da interface entre o design do produto e do design do sistema.

Desso modo, onde é inexorável a existência de um artefato parte-se do pressuposto que o design do sistema produto+serviço pode partir preliminarmente do design do produto, desde que o design do sistema já antecipe os requisitos também para o serviço.

Desse modo, o presente trabalho pretende responder a seguinte questão:

Como desenvolver um sistema de iluminação LED orientado a um conceito de sistema eco-eficiente voltado as habitações de interesse social?

## **1.3 Objetivo**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é investigar as recomendações e parâmetros para o desenvolvimento de produtos integrados ao design de sistemas eco-eficientes.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1 - Identificar as unidades de satisfação do usuário de baixa-renda em relação a iluminação e suas implicações em termos de requisitos para o projeto de produtos.
- 2- Desenvolver um produto de iluminação utilizando a tecnologia LED orientado a um conceito de sistema eco-eficiente.
- 3 – Testar e validar o produto junto ao público-alvo.

### **1.4 Justificativa**

Tratar questões energéticas sempre foi estratégico para os países, sejam eles desenvolvidos ou emergentes. Existe atualmente uma grande pressão, por parte das ONGs (Organizações Não Governamentais) e entidades internacionais, para a utilização de fontes alternativas de energia que sejam renováveis e que agridam menos o meio ambiente. Entretanto, mesmo fontes como a hidrelétrica, tidas como energias limpas, estão sujeitas a restrições ambientais devido a inundação de grandes áreas e alteração do eco-sistema local.

A produção de energia é um dos principais responsáveis pelas mudanças climáticas, respondendo por cerca de 60% do total de emissão de gases de efeito estufa. Reduzir a intensidade de carbono oriunda da energia é meta fundamental para os objetivos climáticos de longo prazo (ONU b, 2012).

Um estudo da Fundação Getúlio Vargas apresenta que a distribuição de energia elétrica passará por mudanças significativas ligadas a novos padrões habitacionais, com o aumento do número de moradias e também de eletrodomésticos. Devido a esses fatores o consumo das famílias deve crescer a uma taxa de 3,8% ao ano (ERNST & YOUNG TERCO b, 2011).

Ainda segundo o mesmo estudo, o Brasil será em 2030 o sétimo maior consumidor de energia do mundo, com crescimento anual médio de 3,3%. O consumo de energia elétrica crescerá 4,4% ao ano (equivalentes a 92,3 toneladas de petróleo) e o investimento no setor de energia é estimado em US\$ 750 bilhões até 2030. Porém, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), os mecanismos para melhoria na eficiência de uso da energia ainda são incipientes e para que haja um aumento consistente da eficiência energética, faz-se

necessário a implementação de programas de economia e utilização que atuem na pesquisa e desenvolvimento de produtos mais eficientes assim como em políticas de educação. É preciso, portanto, não só aumentar a oferta de energia renovável, mas concomitantemente, reduzir a demanda por esta energia.

Nos últimos 17 anos, a população brasileira cresceu a uma taxa de 1,5% ao ano, superior a média mundial de 1,4%, passando de 146,6 milhões de habitantes em 1990, para 189,1 milhões em 2007. Em 1990, 74,8% dos brasileiros viviam nas áreas urbanas, já em 2007 o percentual subiu para 85,1%. A perspectiva é de que em 2030, o Brasil tenha 91,1% de sua população nas cidades. Portanto haverá mais adultos aptos a formar uma família e a demandar moradia. (ERNST YOUNG e FGV, 2008)

Dentro desta perspectiva, o mercado habitacional brasileiro tem crescido fortemente em virtude da melhora da economia nacional e a permissão de acesso ao crédito – tanto para manutenção, reforma, construção ou aquisição de terrenos – principalmente pela população das classes C e D. Planos governamentais, como “Minha Casa Minha Vida” e programas relacionados ao PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) tem ajudado na diminuição da pobreza e na possibilidade de aquisição da casa própria, fatores importantíssimos para qualidade de vida da população. Estima-se que a taxa de crescimento das famílias será de 2% ao ano nas próximas duas décadas e que haverá aumento no investimento habitacional, no valor das construções, nas vendas de materiais e no crédito imobiliário (ERNST & YOUNG TERCO b, 2011). Este cenário aponta para um crescimento da demanda por energia.

Em 2005 o Brasil totalizava um déficit habitacional de 7,83 milhões de moradias, sendo 4,3 milhões em coabitação<sup>1</sup> e 3,52 milhões por inadequação<sup>2</sup>, com a concentração da carência ocorrendo nas faixas de menor renda. Isso representa aproximadamente 20% dos domicílios dessa classe de renda, sendo que o maior volume do déficit se dá nas regiões Sudeste e Nordeste (ERNST YOUNG e FGV, 2008).

Portanto, há uma grande parcela da população que ainda não atingiu um nível adequado de habitação ou que ainda não adquiriu um imóvel, mas que tende a ascender de classe devido a melhora da economia.

A maioria dos domicílios brasileiros possui área igual ou inferior a 75m<sup>2</sup>, sendo 17,3% menor que 50m<sup>2</sup> e 37% entre 51 a 75m<sup>2</sup>. Dentro dos domicílios menores que 50m<sup>2</sup>, onde se

---

<sup>1</sup> famílias que habitam o mesmo domicílio

<sup>2</sup> pessoas que vivem em moradias improvisadas – casas rústicas, favelas e cortiços

concentram a maioria da população de baixa-renda, há um alto percentual na faixa 1 de consumo – até 200 KWh/mês. Os que ultrapassam os 200 KWh/mês correspondem a 10,8% e os que tem consumo superior a 300KWh/mês correspondem a 6%. Ainda dentro desta faixa, 57,5% dos consumidores consideram a conta de energia elétrica pesada ou muito pesada. Considerando de uma escala de 0 a 10 (sendo 10 muito caro) a média para a faixa 01 é 7,73 (PROCEL, 2011). Isso implica que mesmo em domicílios menores, compostos por famílias de baixa-renda, o consumo de energia é elevado.

Atualmente no Brasil, o consumo setorial de eletricidade destinado às residências corresponde a 22,2% (PROCEL, 2011). Desta parte, 24% é gasto com iluminação segundo dados da Abilux e Eletrobras (2011).

A iluminação representa parcela significativa dos gastos com energia no âmbito da Habitação de Interesse social. Uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADDEE (2011), aponta que 80% do consumo residencial de energia cabe as famílias com renda inferior a 6 salários mínimos e que 34,97% da energia produzida para a classe residencial é destinada à baixa renda<sup>3</sup>, porém o impacto da conta de luz para essas famílias é maior (Figura 1. 1: Representação do percentual gasto com energia em relação a renda.Figura 1. 1). Dados de outro estudo da ABRADDEE (2005) apontam que das famílias de baixa renda comprometem em média 6,2% da renda mensal, enquanto que para as famílias que recebem entre 15 a 20 salários mínimos essa percentual é de 1,0%.

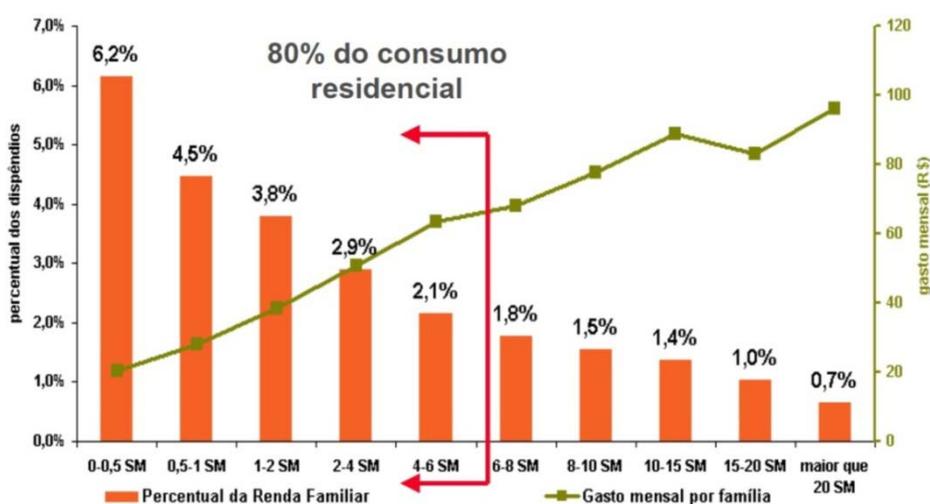


Figura 1. 1: Representação do percentual gasto com energia em relação a renda.

<sup>3</sup>Para definição de baixa renda, utilizou-se o critério do Governo Federal, que define como 50% do salário mínimo per capita por mês (IBGE, 2000), sendo que o salário mínimo vigente no momento de realização desta pesquisa é de R\$ 545,00.

Fonte: ABRADEE (2005)

O estudo de Santos et al (2011) identificou junto a habitações de interesse social que 57% dos entrevistados faziam uso de lâmpadas incandescentes e que apenas 16% utilizam as lâmpadas fluorescentes compactas. Este mesmo estudo apontou que a maioria, 95% dos entrevistados reconheciam que a lâmpada FLC como sendo a mais econômica.

É relevante apontar que neste estudo 81% das famílias não utilizavam a tarifa social de energia, embora apresentem os pré-requisitos para participar do programa. A exclusão dos programas sociais deve-se ao fato de que algumas dessas famílias excedem o valor teto de consumo definido pela concessionária de energia e acabam por perder o benefício, outras por falta de conhecimento de como podem participar dos programas.

Desse modo, pressupõe-se que o largo uso de lâmpadas incandescentes, que consomem muita energia, contribui para que as famílias excedam a faixa estabelecida pelo programa da tarifa social. Sobre esse ponto, é importante criar sistemas de iluminação que consumam pouca energia.

Uma das estratégias do governo para redução do consumo de energia nas residências é o banimento do uso das lâmpadas incandescentes que consomem muita energia. Dessa forma o consumidor é obrigado a adquirir as lâmpadas fluorescentes compactas de menor consumo. Porém, essas lâmpadas possuem uma menor qualidade lumínica e são mais limitadas para configuração de um sistema de iluminação e acredita-se que esta é uma tecnologia temporária e que será logo substituída por tecnologias mais avançadas, como o caso do uso de LEDs, que está se tornando cada vez mais comum.

Considera-se que até 2020 os LEDs terão 46% do mercado de iluminação comercial, industrial e viária (PIKE RESEARCH, 2010) e estimativa das vendas para LEDs de uso comercial e industrial movimentará mais de 1 bilhão de dólares até 2014 (Groom Energy, 2010). Bastos (2011) comenta que a popularização do uso dos LEDs pode proporcionar uma conservação de energia ainda maior que o estimado pelo governo quando apresentou a Portaria Interministerial 1.007/10 para proibição de parte das lâmpadas incandescentes no comércio.

Com vistas nesse cenário de crescente utilização da tecnologia LED (*light emitting diod*), juntamente com seus benefícios energéticos e real interesse governamental nas questões de economia de energia e poluição do meio ambiente, é possível vislumbrar um possível salto tecnológico (*leapfrog*) saindo do patamar da lâmpada incandescente diretamente para a o sistema LED, sem a necessidade de uso da lâmpada fluorescente compacta.

Num dos relatórios da *Energy For a Sustainable Future* (ONU b, 2010), é apresentado que a criação de padrões de eficiência energética para eletrodomésticos e aparelhos da iluminação residencial são algumas das oportunidades mais rápidas e fáceis de serem aplicadas. Assim como a importância da realização de pesquisa e desenvolvimento, envolvendo o setor privado, no sentido de encorajar a diminuição dos custos das tecnologias mais eficientes.

Também na conferência Rio+20 (2012), organizada pela ONU, o documento final da conferência “O futuro que queremos”, faz menção ao uso energia reconhecendo o papel essencial do seu correto uso no processo de desenvolvimento na democratização dos modernos serviços. No texto final consta: *“Insistimos na necessidade de resolver o problema do acesso a serviços energéticos modernos e sustentáveis para todos, especialmente para os pobres que não podem pagar, mesmo nos casos em que estão disponíveis”* (p. 27).

Dentro deste contexto, este estudo procura estar alinhado com estas diretrizes estabelecidas na Rio+20 e procura estabelecer parâmetros e direções para o desenvolvimento de soluções sustentáveis voltadas à iluminação de baixa renda. O investimento em tecnologia para iluminação, tanto na forma de produtos como em serviços, é fundamental para o desenvolvimento do país uma vez que seus resultados podem contribuir para a conservação da energia, meio ambiente e qualidade de vida das pessoas.

## **1.5 Visão geral do método**

O método utilizado para realização desta pesquisa é composto por duas partes (Figura 1. 2). A primeira envolve uma revisão bibliográfica sobre as estratégias do design para iluminação eficiente, iluminação e tecnologia LED. Na etapa seguinte, é realizado um estudo de caso dividido em três fases: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. Na primeira fase, é realizada a análise estratégica de uma empresa de iluminação assim como é analisada uma família de baixa-renda. A segunda fase consiste na modelagem do sistema que dará suporte para o desenvolvimento do produto. Na última fase, são realizados testes em laboratório do produto e sua validação com o usuário.

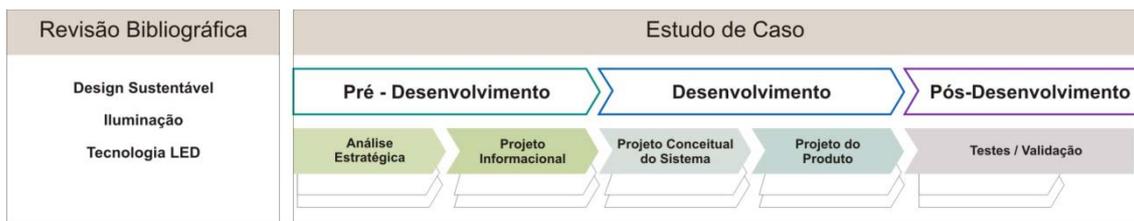


Figura 1. 2: Visão geral do método de pesquisa

Fonte: do autor (2012)

Esta pesquisa está relacionada a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) dentro do Projeto – REDE 22 – “Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social”. Esta Rede envolve 11 instituições e os dados apresentados no estudo de campo serão em parte coletados juntamente com o Sub-Projeto 5 – Eficiência Energética. O nome dado a este Sub-Projeto é LEDHIS (Leds para Habitações de Interesse Social). Este sub-projeto é vinculado a Universidade Federal do Paraná por meio do Núcleo de Design e Sustentabilidade que estuda inovações em design aplicadas as habitações de interesse social.

O projeto é financiado com recursos do Edital MCT/FINEP/CT-Transversal - REDE22, contratados junto à FEESC (referência 0974/10), em rede que congrega 9 universidades. O projeto iniciou em março de 2011 e deverá ser concluído em março de 2014.

## 1.6 Limitação

Esta pesquisa apresenta um estudo de caso realizado com uma família de baixa renda onde a generalização é somente analítica. Também, em virtude do tempo, não é desenvolvido o design de serviço que o sistema eco-eficiente contempla.

Em relação aos aspectos técnicos do produto desenvolvido este foi desenvolvido com os componentes disponíveis no mercado nacional da época deste estudo. Não foi possível realizar testes luminotécnicos para as curvas de distribuição da luz, assim como o projeto de difusores, devido a falta de equipamentos de medição.

Em virtude do tempo, não será desenvolvido a prototipagem do serviço agregado ao sistema eco-eficiente, dando enfoque maior ao desenvolvimento do produto a partir do sistema. A prototipagem do serviço, poderá utilizar os produtos desenvolvidos nesta pesquisa para uma aplicação real do sistema, resultando na continuidade desta pesquisa em conjunto com o projeto LEDHIS.

## 1.7 Estrutura da Dissertação

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa, define o objetivo da dissertação e apresenta a justificativa para a realização do trabalho, delimitando o escopo da pesquisa e o tipo de tecnologia usada para iluminação. Também apresentada uma visão geral do método a ser utilizado.

O **capítulo 2** apresenta os conceitos e requisitos para o conforto lumínico com iluminação artificial e a importância da luz para saúde. Em seguida, são abordadas as estratégias do design sustentável que podem ser adotadas para a economia de energia, assim como as tipologias para desenvolvimento de sistemas eco-eficientes. Posteriormente é apresentado o estado da arte sobre a tecnologia LED, suas tipologias, vantagens e desvantagens em relação às lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas, seu impacto ambiental e sua possível aplicação para ambientes residenciais.

O **capítulo 3** trata do método de pesquisa. Neste capítulo, o método é caracterizado, e discute-se a seleção dos métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, ferramentas de coleta e análise de dados e formas de validação. Além disso, são apresentados os critérios de seleção da empresa e da família de baixa-renda a ser estudada.

O **capítulo 4** apresenta os resultados e análises obtidos na realização desta dissertação e a relação das análises com o contexto desta pesquisa e seus objetivos.

O **capítulo 5** da dissertação consiste das conclusões gerais do trabalho, considerações sobre o método de pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

Após os capítulos enumerados, estão apresentadas as Referências, Glossário, Apêndices e Anexos.

## 2 Design Sustentável Orientado à Iluminação no Ambiente Construído

### 2.1 Luz

A luz é a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. Seu espectro visível está compreendido entre as ondas de 380 e 780 nm (figura 2.1). A sensibilidade visual para a luz varia de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a intensidade de luminosidade (HOWARD et al, 2011).

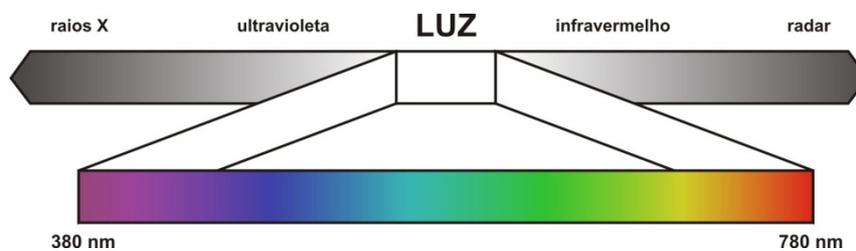


Figura 2. 1: Faixa do espectro eletromagnético da luz visível

Fonte: Adaptado de Freitas (2011)

A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade da sensação luminosa quando há pouca luz (ex: crepúsculo, noite etc.), enquanto que as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário (GANSLANDT e HOFMANN, 2011). Desse modo o olho humano possui diferentes sensibilidades para a luz, como é apresentado na figura 2.2.

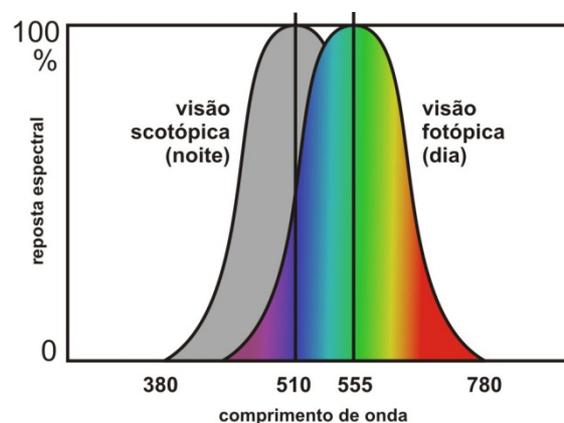


Figura 2. 2: Deslocamento da curva de sensibilidade do olho humano em função da luminosidade.

Fonte: Adaptado de Sechi (2007)

De dia nossa maior percepção se dá para o comprimento de onda de 555nm, correspondente às cores amarelo-esverdeadas e de noite, para o comprimento de onda de 510 nm, correspondente às cores verde-azulados (SECHI, 2007). Esse deslocamento da curva de sensibilidade é denominado efeito de Purkinje (ALCAMO, 2007).

Para a mensuração da luz, são aplicados diversas unidades de medida que estão listados no glossário desta dissertação.

## **2.2 Conforto Lumínico**

### **2.2.1 Aspectos Gerais**

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu em 1992 a Norma 5413 que estabelece os níveis de iluminância em interiores e a Norma 5382 que trata da verificação de iluminância em Interiores. O objetivo da norma é estabelecer os valores de iluminâncias adequados onde se realizam atividades de comércio, indústria, ensino entre outras de modo a proporcionar uma iluminação confortável às diversas atividades realizadas em ambientes internos. Desse modo, entende-se que o conforto lumínico é estabelecido ao atingir a faixa de luminosidade determinada.

A Comissão Internacional de Iluminação (C.I.E) estabelece que a zona de conforto em iluminação é a região entre o iluminamento deficiente e o iluminamento excessivo. O primeiro é relativo a redução da capacidade de distinguir detalhes nos objetos, enquanto que o segundo é o desconforto causado pelo excesso de luz no campo visual causando fadiga visual (ALCAMO, 2007).

A quantidade de luz para atingir o conforto lumínico evolui com o tempo, sempre em função de um valor mais elevado assim como pode variar dentro de contextos sociais diversos (SECHI, 2007 e IIDA, 1993). Ao final do século XIX, a iluminação necessária para uma boa leitura era de 4,3 lux. Apenas antes da primeira guerra este valor era de 21 a 43 lux. Em 1931, pelo trabalho na indústria, este valor passou a um iluminamento um pouco superior a 100 lux (SECHI, 2007). Hoje este valor está em 300 lux de acordo com a ABNT 5413 (1992).

De acordo com Sechi (2007), para se estabelecer o conforto lumínico em um ambiente é necessário atribuir valor as diversas variáveis que influenciam a iluminação. Em fato isto depende do tipo de atividade, da velocidade de execução da tarefa, da idade do usuário, da cromaticidade da cor.

lida (1993) trata do conforto lumínico como um fator do ambiente que deve ser controlado para execução de uma determinada tarefa. Para o autor, o conforto visual depende do equilíbrio de três fatores, sendo eles: a quantidade de luz, o tempo de exposição e o contraste figura-fundo.

Já Verdiani (2007) comenta que o conforto lumínico é o resultado de variáveis quantitativas e qualitativas. As variáveis quantitativas estão relacionadas aos pontos luminosos de acordo com seu correto posicionamento no ambiente, enquanto que as variáveis qualitativas estão relacionadas a correta escolha do tipo de luz para determinada função, assim como a interação da cor com o material refletivo, mas sobretudo um estudo da troca da situação de iluminação durante o dia. Para o autor a luz do ponto de vista físico é radiação e do ponto de vista psicológico é emoção. Portanto, o conforto está associado não somente mensuração da luz, mas também sensação que ela evoca.

Similarmente, Freitas (2011) define o conforto lumínico como a iluminação que atende adequadamente as necessidades visuais do indivíduo, nos seus aspectos técnicos, fisiológicos, estéticos e psicológicos visando proporcionar o bem-estar.

De acordo com Pereira (2005), estudos e experiências têm demonstrado que a cor é um fator importante para o conforto lumínico e deve estar de acordo com os níveis de iluminação, pois pode influenciar a saúde, o bom humor e o rendimento das tarefas.

## **2.2.2 Cor como elemento de conforto lumínico**

### **2.2.2.1 Taxonomia das Cores**

A cor é uma resposta subjetiva a um estímulo luminoso que penetra nos olhos (IIDA, 1993). A aparência de um objeto é o resultado da luz que incide sobre ele, onde alguns comprimentos de onda são absorvidos enquanto outros são refletidos, e são esses que conseguimos ver

(PEREIRA, 2005). Assim a pena amarela de um pássaro é amarela, pois absorve todos os comprimentos de onda menos o amarelo que é refletido. Da mesma forma a folha é verde porque apenas reflete a luz verde. (IIDA, 1993)

A luz branca proveniente de uma fonte luminosa é composta por três cores matriz, sendo o vermelho, verde e azul. Esse sistema é denominado pela sigla RGB (Red, Green, Blue). O resultado da combinação dessas cores resulta nas cores secundárias: amarelo, ciano e magenta e o somatório destas resulta no branco, vide figura a seguir.

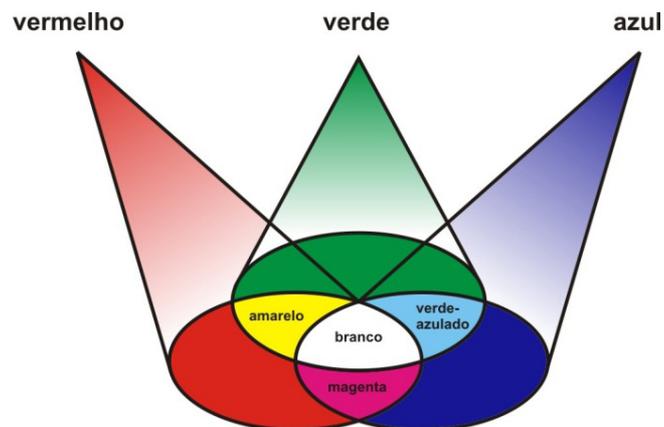


Figura 2. 3: Composições das cores luz  
Fonte: Autor (2012)

Mesmo a cor branca possui uma determinada tonalidade que é medida através da temperatura de cor correlata, expressa em Kelvin (HOWARD et al, 2011). De acordo com Sechi (2007) essas tonalidades podem ser divididas em três grupos, conforme figura a seguir.

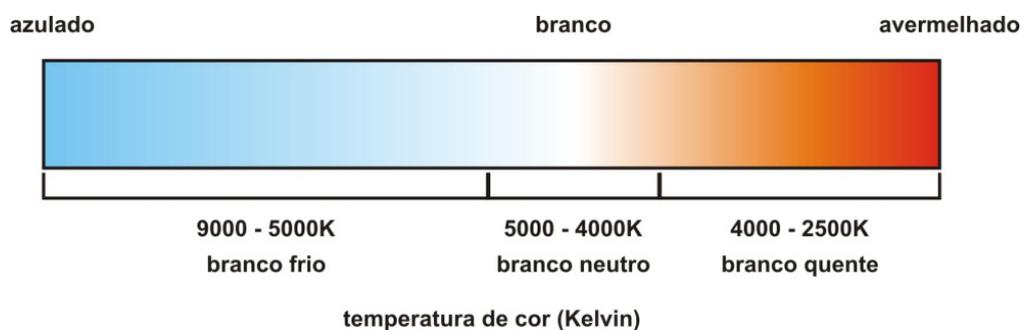


Figura 2. 4: Composições das cores luz  
Fonte: Autor (2012)

O diagrama de Kruithof estabelece uma zona de conforto visual entre os níveis de iluminação com a temperatura de cor da fonte luminosa. A área limitada pelas duas curvas da figura a seguir correspondem a uma aparência mais natural luz – que corresponde a luz do sol. O que está fora da área branca resulta em impressões de cor não naturais e desagradáveis (VIÉNOT et al, 2009).

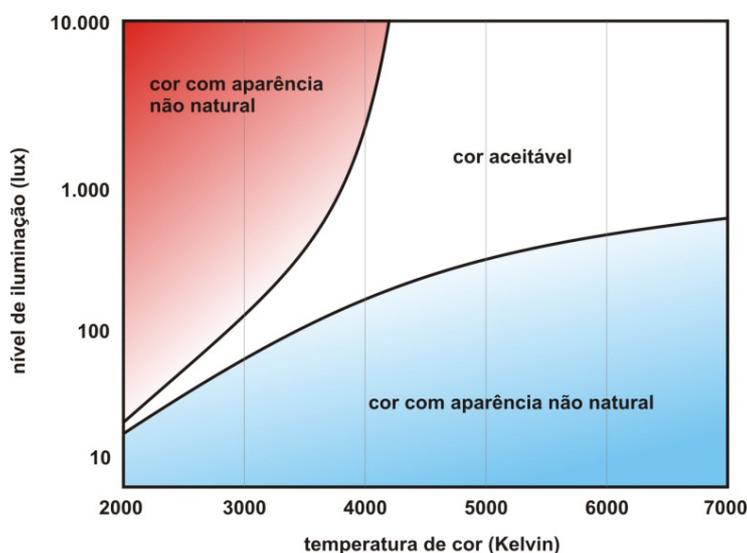


Figura 2. 5: Diagrama de Kruithof  
Fonte: Adaptado de Lightitaly (2012)

Pelo diagrama é possível observar que níveis de iluminância baixos tendem para o uso luzes de cor quente enquanto que níveis mais altos de iluminância tendem para cor fria. As cores quente, neutra e fria, afetam o nível de estímulo de uma pessoa, onde os tons quentes tendem a relaxar e as cores frias estimulam o indivíduo a liberar sua energia (FARRÁS, 1998).

### 2.2.2.2 Apectos psicológicos e simbólicos da cor produzida pela luz

As cores podem influenciar o estado emocional de um indivíduo, afetando seu bem-estar. Elas possuem diferentes simbologias que variam de acordo com a região e cultura (IIDA, 1993), assim como estão associadas a percepção auditiva, a textura, a temperatura e a segurança (FREITAS, 2011). O quadro a seguir apresenta algumas dessas associações.

<b>Cor</b>	<b>Significado/Simbologia</b>
vermelha	Quente, estimulante e dinâmica
laranja	Quente, saliente, acolhedora
amarela	Quente, riqueza, energia
verde	Fria, passiva, esperança
azul	Fria, repousante, inteligência
branca	Pureza, paz, higiene, luto (oriente)

Quadro 2. 1: Associação da cor a significado

Fonte: Freitas (2011)

Em relação a temperatura de cor (VERDIANI, 2011) aponta que mesmo a luz natural que parece sempre branca pode variar entre 2000K (ao nascer do sol) e 12000K (ao meio-dia nebuloso).

Verdiani (2007) também comenta que as cores estimulam uma componente psicológica que move nossas emoções, estimulando a sensação de frio, calor, excitação ou tranquilidade e uma série de outras sensações indispensáveis para nossa psique. A autora ainda coloca que o atributo quente e frio da luz está relacionado ao efeito sinestésico que ela provoca, porém as reações humanas são dependentes de múltiplos fatores e seu efeito tem um tempo limitado.

A tabela a seguir apresenta os efeitos fisiológicos e psicológicos relacionados as cores quente e fria.

<b>Efeito</b>	<b>Luz com aspecto</b>	
	<b>Quente (2500 - 4000K)</b>	<b>Frio (5000 - 9000K)</b>
A pressão sanguínea, a respiração e batimento cardíaco	Estimulado	Acalmado
Passar do tempo	Mais Lento	Mais rápido
Movimento das pálpebras	Mais frequente	Menos frequente
Sistema nervoso	Excita	Acalma
Sensibilidade Acustica	Menor	Maior
Desejo de comunicar	Aumenta	Diminui
Temperatura ambiente	Mais quente	Mais fria
Ao ambiente um aspecto	Mais seco	Mais úmido

Quadro 2. 2: Associação da cor a significado

Fonte: Verdiani (2007)

Portanto, levando em consideração os efeitos das cores apresentados nos quadros anteriores, o designer pode criar diferentes ambientações usando a luz artificial, de modo a provocar efeitos e sensações adequadas a condição exposta.

### 2.2.3 Impacto da Iluminação no Ciclo Circadiano

Um aspecto central para compreensão do efeito da luz é o ciclo circadiano corresponde a 24 horas do dia e regula a produção de hormônios no corpo, definindo estados de alerta, relaxamento e humor (VERDIANI, 2007 e FORCOLINI, 2011). Um estudo de Berson et al (2002) demonstra que presente no olho há um quinto tipo de foto receptor na retina, que é justamente responsável pela regulação do nosso ciclo circadiano.

A invenção da luz artificial a cerca de um século tem mudado drasticamente a organização temporal do meio ambiente (TUREK e GILLETTE, 2004) e, por consequência, afetando diretamente o ciclo circadiano. O aumento da prevalência de exposição à luz durante a noite tem importantes consequências sociais e comportamentais que só agora estão se tornando aparentes (NAVARA e NELSON, 2007).

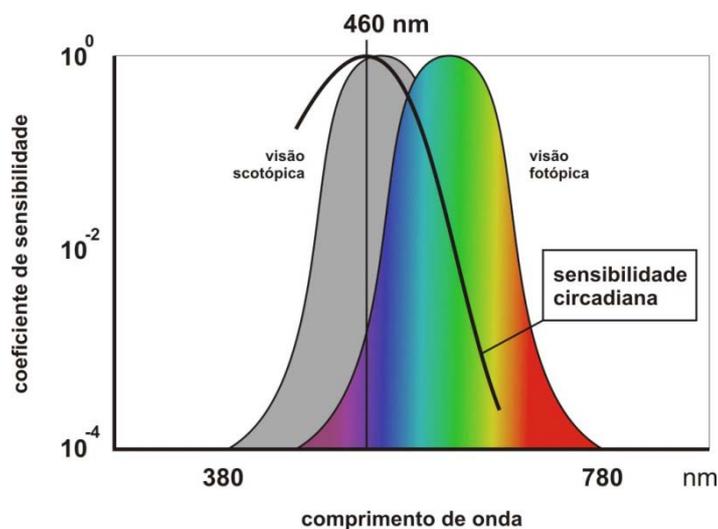


Figura 2. 6: Diagrama contendo a curva de sensibilidade circadiana em relação a visão fotópica e escotópica

Fonte: Adaptado de Forcolini (2011)

AIES Position Statement (2010) aponta que toda a radiação ótica que é detectada pela retina pode afetar o comportamento, a psicologia e percepção do ambiente pelo indivíduo. Desse modo, a mudança da cor e da intensidade da luz natural é responsável por regular o nosso relógio biológico, também chamado de ciclo circadiano.

Uma série de estudos (PAULEY, 2004/ NAVARA e NELSON, 2007/ TUREK e GILLETTE, 2004/ BRUIN, 2011/ TURNER et al, 2010/ BOYCE, 2009) demonstram problemas relacionados a saúde decorrentes justamente da alteração do ciclo circadiano. Entre os problemas relacionados pode-se citar a alteração do humor, alteração do ciclo menstrual nas mulheres e aumento da probabilidade de câncer de mama, distúrbios do metabolismo, stress oxidativo, diminuição da imunidade do corpo, agravamento da síndrome de Alzheimer e insônia. Todos esses distúrbios afetam drasticamente o bem estar e a qualidade da vida doméstica.

Um dos agentes químicos reguladores do ciclo circadiano é um hormônio chamado melatonina. Este hormônio é produzido pela glândula pineal no centro do cérebro e possui conexão nervosa com o núcleo supraquiasmático do hipotálamo (TUREK e GILLETTE, 2004). A melatonina tem propriedades de indução do sono e de regulação do estado fisiológico. Nos seres humanos, assim com em outros organismos, o sincronizador deste hormônio é a luz (SHECHTER et al, 2008).

A supressão da melatonina noturna ocorre pela alta intensidade de luz incidente na retina (REA et al, 2005 e PAULEY, 2004). O ciclo circadiano é especialmente mais sensível a luz de frequência entre 440 – 480 nm (Figura 2. 6). Portanto, a luz com comprimento de onda mais curto (azulada) pode induzir mudanças de fase significativamente maiores do que a luz com comprimentos de onda mais longos (avermelhada) (SHECHTER et al, 2008).

Brainard et al (2001) aponta que mesmo uma pequena fonte de luz azul (0.1 lux) é capaz de produzir a supressão da melatonina. Em um estudo experimental, Figueiro (2006), relata que o uso de lâmpadas de temperatura de cor mais elevada – 8000K (Kelvin) – provoca significativamente mais supressão da melatonina que o uso de lâmpadas de temperaturas menores – 4100K. Pauley (2004) também relata que a luz de uma vela demora 66 minutos para suprimir em 50 por cento o nível de melatonina, enquanto que uma fonte de LED branco, com a mesma intensidade de luz, demora apenas 13 minutos para atingir o mesmo nível.

Isso demonstra que as fontes luminosas com temperatura de cor fria tendem a suprimir mais melatonina, sendo menos recomendadas para uso noturno, pois podem provocar o bloqueio do sono assim como afetar a regularidade do hormônio.

Turner et al (2010) aponta que a luz azul é mais recomendada para execução de tarefas complexas pois aumenta o nível de cognição, reduz a fadiga e a sonolência durante o dia, aumentando o desempenho, atenção e precisão. Os altos níveis de luz sobre o plano de trabalho, por exemplo, 2500 lux, ajudam os trabalhadores noturnos a manterem-se alertas (FIGUEIRO, 2006). Porém deve-se estar atento aos níveis de supressão da melatonina devido a alta luminosidade, pois podem acarretar os problemas de saúde acima citados.

Pauley (2004) ressalta que os projetos de iluminação não podem mais ser baseados apenas na acuidade visual e na decoração. É necessário pensar em novas abordagens de projeto para iluminação que levem em consideração os impactos fisiológicos da luz no usuário de modo a elevar o conforto lumínico do ambiente resultando numa melhora na qualidade vida dos residentes.

## **2.3 Estratégias para o Design Eco-Eficiente**

### **2.3.1 O Conceito de Eficiência Energética e Eco-Eficiência**

A eficiência energética, segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2012) está relacionado com o volume de energia perdida no seu processo de transformação. Assim, quanto menor a perda durante a transformação (por exemplo: da eletricidade para radiação luminosa), maior será a eficiência energética.

Para iluminação residencial com uma fonte artificial de luz, usualmente, é necessário a energia elétrica. Porém, o consumo de energia está relacionado estreitamente com os danos ao meio-ambiente onde resultados atuais mostram que a utilização de um produto (fase de uso) é frequentemente mais importante do que os métodos de produção para determinar o impacto ambiental e social (WBCSD, 2008). Nesse sentido, é importante desenvolver sistemas que, além de serem eficientes energeticamente, envolvam o conceito de eco-eficiência.

Conforme definido pela *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2008), a "eco-eficiência é alcançada mediante a entrega de mercadorias e serviços que satisfaçam as

necessidades humanas trazendo qualidade de vida e ao mesmo tempo reduzindo progressivamente os impactos ambientais e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida”.

Alguns exemplos de atitudes para eco-eficiência em produtos incluem a minimização de recursos, otimização da vida útil, utilização de recursos de baixo impacto a extensão da vida dos materiais e projetos que envolvam a montagem e desmontagem (MANZINI e VEZZOLI, 2008). No entanto é necessário pensar em outras estratégias que vão além do desenvolvimento do produto.

### **2.3.2 Abordagens para o Consumo Sustentável na Iluminação**

Desde a declaração do WBCSD política de 1995 sobre consumo e produção sustentáveis, algumas empresas têm sido capazes de reduzir os impactos por unidade de suas operações empregando mecanismos de eco-eficiência e a aplicação de técnicas para o gerenciamento do ciclo de vida dos produtos. Alguns exemplos incluem: abastecimento de matérias-primas de fontes sustentáveis, redução do peso das embalagens e produtos, a mudança para a energia renovável e uso de diferentes meios de transporte.

A partir da perspectiva comercial, o consumo sustentável é um conceito significativo apenas no contexto mais amplo de um mercado sustentável. Ele depende de três fatores: o desenvolvimento sustentável de produtos e modelos de negócios, a utilização da comunicação e mecanismos que encorajem os consumidores a escolher e utilizar os produtos de forma mais eficiente e por fim a eliminação de produtos e serviços insustentáveis. Estes aspectos podem ser agrupados em três conceitos, sendo eles: "influência de escolha", "edição de oferta" e a "inovação sustentável" (Figura 2. 7).



Figura 2. 7: Abordagens para o Consumo Sustentável  
Fonte: WBCSD (2008)

### 2.3.2.1 Escolha influenciada

Refere-se a qualquer forma que procura influenciar o comportamento do consumidor para um consumo mais sustentável. A partir de uma perspectiva de negócios, é uma parceria entre a empresa eo consumidor, demonstrar que os produtos e estilos de vida sustentáveis podem proporcionar desempenho superior com os melhores preços, onde comunicações de marketing podem influenciar a escolha do consumidor.

Lewis e Gertsakis (2001) apontam que a criação de selos para identificação de produtos mais eficientes em termos de consumo de energia é uma forma capacitar o consumidor a optar por um produto de melhor desempenho ecológico e de mostrar que as empresas estão dispostas a contribuir com a economia de energia.

No Brasil, uma das estratégias do governo nesse sentido foi, através dos ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, criar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, denominado PROCEL. Este programa visa promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica (PROCEL, 2012). Posteriormente, em dezembro de 1993 o PROCEL em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) criaram

ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O selo do PBE garante que o produto atende as especificações relativas a eficiência energética da sua categoria (PROCEL, 2012).



Figura 2.8 :Selo do Procel  
Fonte: Procel (2012)

O governo brasileiro também tomou outras medidas como o Decreto nº 4059 de 19 de dezembro de 2001 que regulamentou a Lei 10.295, estabelecendo níveis máximos de consumo de energia, ou níveis mínimos de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia (ELETROBRÁS, 2012). Dentro deste contexto foram ampliadas as responsabilidades do PROCEL com intuito de promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica.

No que tange a eficiência energética em residências, a Eletrobrás e o Inmetro lançaram, em 2 de julho de 2009, a primeira Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos. Denominado de “PROCEL Edifica”. Este programa é um plano de ação para eficiência energética em edificações visando construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações do Brasil. Este programa também objetiva incentivar a elaboração de projetos que aproveitem ao máximo a capacidade de iluminação e ventilação natural das construções levando a um consumo de energia menor (ELETROBRÁS, 2012).

Empresas líderes já começaram a abordar esta questão de negócio cada vez mais relevante para influenciar a escolha do consumidor e uso de produtos para promover o consumo sustentável. Elas também estão apoiadas na necessidade de apresentar uma boa imagem para o consumidor.

### **2.3.2.2 Escolha editada**

Refere-se às decisões que controlam diretamente os impactos do consumo. Os gestores políticos tendem a preferir a edição da oferta como uma abordagem eficaz para mudar o comportamento do consumidor, atingindo as metas de haver apenas os produtos mais sustentáveis disponíveis no mercado. Uma empresa também pode adotar a escolha editada ao controlar elementos de sua cadeia de suprimentos ou eliminando os componentes do produto que representam um risco para o meio ambiente ou a saúde humana.

Uma estratégia adotada nesse sentido foi a regulamentação da Normativa Nº 464, que prevê a aplicação de tarifas diferenciadas por horário de consumo com o intuito de coibir o uso de aparelhos nos horários de pico (ANEEL, 2012).

Com relação a iluminação o governo brasileiro, através da Portaria Interministerial Nº1007 de 31 de dezembro de 2010, pretende retirar do mercado as lâmpadas incandescentes que consomem mais de 40W até 2016. Com essa medida, o Ministério de Minas e Energia (2011) pretende economizar cerca de 10 TWh/ano até 2030 e ao mesmo tempo incentivar o uso de novas tecnologias de iluminação que proporcionem um horizonte mais favorável em termos de economia energética.

De acordo com os dados da Secretaria de Planejamento Energético do Ministério de Minas e Energia (2011), ainda são comercializadas 300 milhões de lâmpadas incandescentes no Brasil e estima-se que sejam responsáveis por aproximadamente 80% da iluminação residencial. A lâmpada fluorescente compacta é a tecnologia mais difundida para substituir a lâmpadas incandescente, porém esta tecnologia pode ser perigosa para o meio ambiente devido ao mercúrio contido em seu interior, além de limitar tecnicamente sua aplicação para situações específicas.

### **2.3.2.3 Inovação**

Significa aumentar a disponibilidade de produtos e serviços mais sustentáveis através da integração de processos de ciclo de vida e inovação em design de produto que não comprometem a qualidade, o preço ou o desempenho do que há no mercado atual. A inovação responde ao desafio do consumo sustentável por meio de: medidas de eco-eficiência,

inovação de produtos e design, produção e gestão da cadeia de fornecimento e inovação do modelo de negócios (WBCSD, 2008).

A abordagem de inovação é onde o design pode atuar com mais intensidade ao propor novos modelos de uso do produto.

Uma das estratégias para a diminuição dos gastos de energia com iluminação é a intergração do sistema de luz artificial a iluminação natural, que reduz o uso da eletricidade durante o dia.

As figuras a seguir ilustram algumas soluções apontadas por Howard et al (2011).

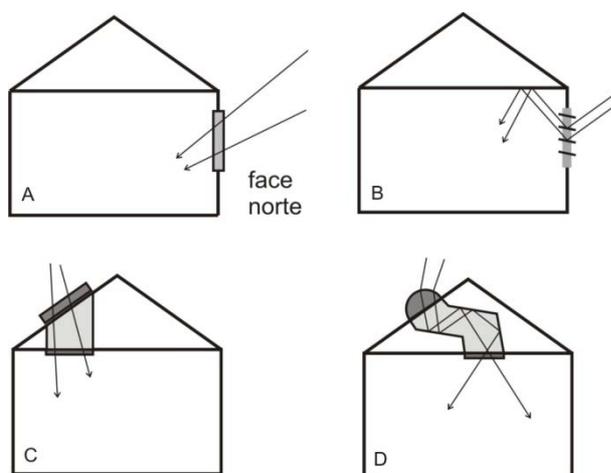


Figura 2. 8: Sistemas de iluminação natural

Fonte: Autor (2013)

Os princípios dessas soluções são simples, como direcionamento da janela para face norte (A) para permitir a entrada de luz mesmo durante o inverno, assim como a instalação de *brises* para reflexão da luz para o interior (B). As outras duas soluções necessitam da realização de adaptações nas residências para funcionarem adequadamente. O sistema de tubos de luz (D) é semelhante as claraboias (C) com a diferença de que a luz é conduzida para uma luminária composta por lentes instalada no forro da casa.

Porém, esses sistemas possuem algumas desvantagens, como a variabilidade repentina do fluxo luminoso e o aumento da temperatura interna do ambiente devido a presença dos raios infra-vermelhos (FREITAS, 2011) e a alteração da temperatura de cor durante o dia (VERDIANI, 2011). Eles também não podem funcionar isoladamente uma vez que é necessária a iluminação durante a noite, desse modo a iluminação natural necessita da combinação com um modelo de iluminação artificial.

Além do artefato, o design pode fazer pensar na utilização de sistemas eletrônicos de controle como uma ferramenta para atingir a eco-eficiência. Manzini e Vezzoli (2008) colocam que a tecnologia informática é uma ferramenta necessária para o gerenciamento dos produtos e serviços voltados a sustentabilidade, pois permitem trabalhar com um grande número de informações. Ainda segundo os autores, outra grande vantagem destas tecnologias é a capacidade de criar interações entre os atores envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos.

Um exemplo disso é a tecnologia PLC (*Power Line Communications*) que é aplicada em redes de energia elétrica para viabilizar as *smart grids*. As *smart grids* são redes inteligentes, que permitem controlar o consumo e através de informações digitais, possibilitando uma forma de uso da energia mais otimizada. Nesse sistema, é possível realizar a transmissão de dados entre equipamentos conectados na rede elétrica e a concessionária de energia elétrica, como medidores de consumo e monitores de qualidade da energia viabilizando a ampliação de uma gama de serviços. Numa *smart grid* também é possível a instalação de sistemas de produção de energia descentralizados, como painéis solares e pequenos geradores eólicos de modo a permitir o armazenamento dessa energia na rede elétrica, sem a necessidade de baterias. Isso resulta que o consumidor, pode ser também um produtor de energia.

Porém os equipamentos atuais não estão preparados pra incorporar esta tecnologia de modo a explorar todo o seu potencial. Nesse sentido, no âmbito do design para sustentabilidade é possível trabalhar não somente no design no produto que contempla uma nova tecnologia mais eficiente energeticamente, mas também em modelos de produtos e serviços que modificam o hábito de uso do consumidor (LILLEY, 2009 e TANG E BHAMRA, 2008).

Uma das barreiras é a mudança de hábito das pessoas, onde há o efeito rebote, quando se usa um aparelho mais eficiente. Ou seja, o hábito muda ao mudar a eficiência do aparelho. (WBCSD, 2008)

Muitos usuários não conseguem perceber ou mesmo refletir sobre o consumo de eletricidade devido ao fator de que a eletricidade é invisível e impalpável (LILLEY, 2007). Nesse sentido, Tang e Bharmma (2008) colocam a existência de algumas barreiras para se atingir o consumo eficiente, entre elas:

- a) *a natureza invisível da energia*: os consumidores tem uma preocupação maior com a performance do produto.

- b) *desconhecimento dos impactos ambientais relacionados com a energia*: para estabelecer uma relação entre o hábito de consumo e o efeito causado é importante criar sistemas de feedback eficientes.
- c) *atitudes descuidadas com a energia*: o esquecimento e a preguiça são atitudes negligentes que devem ser evitadas. As autoras sugerem que mudanças desse padrão podem ser estimuladas por meio de mecanismos de recompensa.
- d) *baixa percepção do impacto individual*: muitos usuários são desacreditados de que suas atitudes individuais possam fazer a diferença. Sistemas de feedback que demonstrem o consumo acumulativo podem conscientizar o usuário a mudar determinadas atitudes em relação ao consumo de energia.
- e) *falta de confiança*: as pessoas devem ter acesso adequado as informações que devem ser claras e confiáveis.
- f) *bloqueio no estilo de vida*: as melhorias tecnológicas tem pouco efeito se as pessoas aumentarem seus padrões de consumo em função de estilos de vida incompatíveis com os princípios da sustentabilidade.

Neste sentido, uma das contribuições possíveis do Design é o projeto de artefatos que influenciem de forma direta o comportamento para a Sustentabilidade (Design for Sustainable Behaviour). Esta contribuição leva em conta o fato de que grande parte dos impactos ambientais dos produtos decorrem durante a fase de uso (VEZZOLI, 2008). Nesse sentido, Lilley (2009) aponta três estratégias de abordagem no design para o comportamento sustentável, onde cada uma apresenta um grau diferente de poder na tomada de decisão que pode ser realizada tanto pelo usuário quanto ser delegada ao produto (Figura 2. 9).

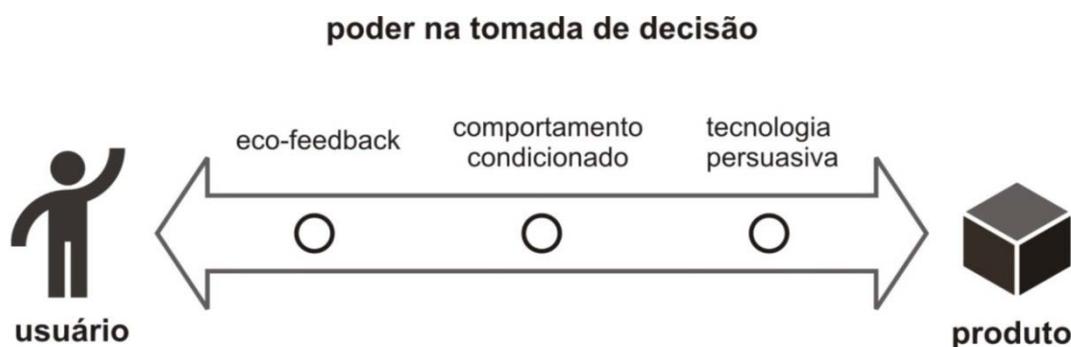


Figura 2. 9: Estratégias de design para o comportamento sustentável

Fonte: Adaptado de Lilley (2009)

Essas estratégias são descritas como:

1 - *Eco-feedback*: fornece sinais tangíveis auditivos, visuais ou tácteis como lembretes para informar os usuários sobre o uso dos recursos durante o uso.

Um exemplo de produto que aborda esta estratégia é o *electrical semaphore* projetado por Gilles Belley. É um objeto que atua como um semáforo indicando através da cor quais os horários de pico de consumo de energia. A idéia é que se você sabe quando a energia é mais demandada, você pode reduzir seu consumo naquele momento.



Figura 2. 10: Eletricalsemaphore.

Fonte: [http://homepages.lboro.ac.uk/~cddl/electrical\\_semaphore.htm](http://homepages.lboro.ac.uk/~cddl/electrical_semaphore.htm)

2 - *Comportamento Condicionado*: encoraja os usuários a comportar-se da forma prescrita pelo designer através de restrições impostas no artefato.

Exemplo de um produto com comportamento conduzido é o Puzzle Switch desenvolvido em cooperação com a Agência Sueca de Energia. O interruptor tem a configuração de um puzzle que encoraja o usuário mantê-lo desligado pela desarmonia formal proporcionada quando está ligado.

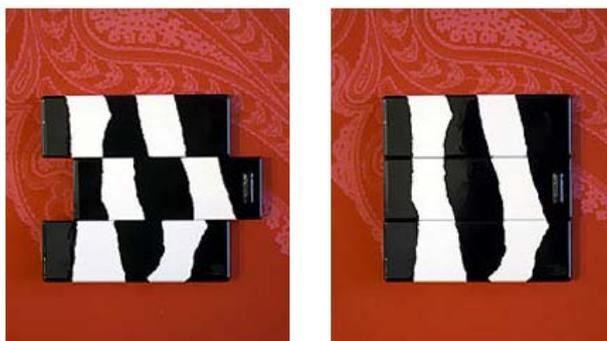


Figura 2. 11: Aware Puzzle Switch

Fonte: <http://www.tii.se/projects/aware>

3 - *Tecnologia Persuasiva*: utiliza métodos persuasivos para mudar o que as pessoas pensam ou fazem, às vezes sem seu conhecimento ou consentimento.

Como exemplo deste tipo de estratégia, podemos citar o *powerpeg*. Este artefato foi desenvolvido pela Gilles Belly que desliga o carregador de baterias quando o equipamento está completamente carregado, evitando que seja desperdiçada energia.



Figura 2. 12: Bacia integrada Carona.

Fonte: <http://homepages.lboro.ac.uk/~cddl/powerpeg.htm>

Uma outra estratégia para redução do consumo e energia que é mais abrangente e com nível de inovação radical, é a atuação do designer como protagonista no desenvolvimento de sistemas eco-eficientes.

De acordo com Papanek (1995), o designer, como atuante na tomada de decisão durante o processo de produção de produtos, tem a possibilidade de condicionar o desenvolvimento industrial em direção à sustentabilidade ambiental. Porém, as decisões em prol desta direção não dependem exclusivamente do designer, mas também de outros tipos de conhecimento que atuam em conjunto. Desse modo, Kazazian (2005) afirma que o designer é uma peça chave nesse processo justamente porque se distingue das outras atividades, por seu papel transversal, integrador e dinâmico, que, como agente criativo, pode estabelecer a ligação entre elementos para elaboração de um sistema eco-eficiente.

Segundo Vezzoli (2010), o ponto chave para o design de sistemas eco-eficientes está na “abordagem para a satisfação”, ou seja, projetar soluções que atendam a uma demanda do consumidor. Esta demanda é chamada de “unidade de satisfação”, e deve orientar o desenvolvimento de todo o projeto. Esse tipo de inovação, desloca a venda do produto isolado, para uma oferta de sistemas de produto-serviço - PSS.

Da mesma forma Manzini (2002) coloca que o PSS desloca o conceito de posse e propriedade do produto, provendo ao designer outro prisma para transformação da realidade, deixando de ser somente uma questão de inovação tecnológica, mas também de inovação sócio-cultural e organizacional, permitindo trabalhar com as três dimensões do design sustentável<sup>4</sup> (ambiental, social, econômica e cultural).

Kazazian (2005), coloca que, através da oferta de modelos em que os produtos são baseados nos serviços, é possível reformar as ferramentas do mercado em prol de um desenvolvimento mais sustentável. É uma mudança da sociedade de consumo, antes baseada no produto, para a sociedade de utilização, baseada no serviço, criando uma economia leve e humanista.

O autor ainda aponta que nesta modalidade, o produto é apenas suporte de um serviço prestado, um intermediário que deve assegurar a qualidade da prestação a ser realizada. Passar de uma oferta de produtos a uma oferta de serviços leva a empresa a diversificar suas atividades e seus mercados e estabelece uma nova relação com seus clientes pela atenção e pelo acompanhamento permanente das necessidades deles, onde oferecer um produto equivale a vender um resultado.

No entanto essas mudanças do produto puro para o serviço podem ser muito impactantes para as empresas, pois elas cresceram e enraizaram-se em um determinado modelo. Uma transição muito radical pode gerar insegurança e impedir uma implementação.

Tukker (2004) aponta que o PSS pode ser considerado como uma etapa de transição entre o produto puro e serviço puro. Dessa forma ele possui transições entre esses dois extremos abrangendo três níveis distintos, permitindo ao designer trabalhar de formas diferentes na configuração de um sistema: PSS orientado ao Produto, PSS orientado ao Uso e PSS orientado ao Resultado.

---

<sup>4</sup> - *A dimensão ambiental* - que é a preservação dos recursos naturais do planeta com seu uso controlado de forma a não ultrapassar o nível de resiliência.

- *A dimensão sócio-ética* – preservar o mesmo grau de satisfação na distribuição de recursos para as futuras gerações e trabalhar com a equidade.

- *A dimensão econômica* – possibilitar economias viáveis em um mercado orientado. (Vezzoli, 2010)



Figura 2. 13: Diagrama de Tukker com os níveis de PSS.

Fonte: Tukker (2004).

Essas diferentes abordagens apontam formas variadas de implementação de um PSS que podem ser adotadas por uma empresa em busca de um modelo mais eco-eficiente.

Vezzoli (2010), também aponta algumas tipologias diferentes para inovação de sistemas eco-eficientes. São elas:

- 1) **serviços provendo valor agregado ao ciclo de vida do produto** – são empresas que fornecem serviços adicionais para garantir o desempenho do ciclo de vida de um produto, como manutenção e reparos.
- 2) **serviços provendo o resultado final aos clientes** – empresas que ofertam serviços customizados aos clientes de acordo com suas satisfações. Nesse caso o cliente não é dono do produto e não se preocupa com manutenção nem aquisição, pois paga pelo resultado obtido.
- 3) **serviços provendo plataformas facilitadoras para os clientes** – são soluções em produtos e serviços que habilitam o usuário a obter o resultado que busca satisfazendo suas necessidades. Nesse modelo o usuário não é dono produto.

Trabalhar com sistemas que envolvem produtos e serviços associados é uma mudança radical no modo atual de ação das empresas e nas metodologias do design, pois o foco se concentra nas interações recorrentes da configuração sistema. Porém, isso permite que as empresas se envolvam de forma mais ampla no ciclo de vida dos produtos para além das fases de pré-produção, produção e distribuição. Elas podem passar a atuar nas fases de uso do produto, onde muitas vezes o impacto ambiental é maior.

Dessa forma, como afirma Kazazian (2005), as empresas podem melhorar sua legibilidade no mercado colhendo informações sobre os hábitos de utilização dos consumidores e antecipando o possível futuro dos produtos que podem ser pensados para atender mais fielmente a necessidade do usuário. Também é possível permitir o rastreamento

(monitoramento) do ponto maior de impacto que o produto gera, providenciando um modelo de atuação mais eficaz a fim de minimizá-lo.

O design de sistemas eco-eficientes pode ser para as empresas uma oportunidade para colocar a ecologia como um fator de inovação, reposicionando suas estratégias às quais associam-se ao respeito pelo meio-ambiente. É uma nova oportunidade de oferta, criando uma vantagem concorrencial e uma abordagem responsável com o futuro.

### **Considerações**

As empresas podem desempenhar um papel importante na promoção do consumo sustentável, provendo aos consumidores a oferta de bens e serviços de forma sustentável, promovendo estilos de vida sustentáveis.

A sociedade está cada vez mais preocupada com as questões ambientais, sociais e econômicas e cada vez mais disposta a agir sobre essas preocupações, no entanto, a vontade do consumidor não está refletindo um comportamento sustentável, como aponta a WBCSD (2008), onde ainda há uma série de barreiras a serem superadas como a conveniência, o desempenho do produto ofertado e o hábito insustentável.

O design pode contribuir na viabilização de tecnologias, sistemas e serviços que criem mecanismos de informação nos artefatos de modo a capacitar o usuário a identificar a forma ou o momento mais adequado para uso adotando uma prática mais sustentável.

Dentro dessa ótica, a presente dissertação trata da aplicação da tecnologia LED para iluminação residencial, mas ela não pode ser considerada como a solução do problema como tal. A pretensão para sua escolha recorre de sua possibilidade de ser, como coloca Jégou e Manzini (2004), uma “tecnologia habilitante”, que possibilita, ou procura tornar mais acessível, soluções que abarquem as estratégias de design sustentável acima mencionadas. O tópico a seguir trata do estado arte da tecnologia LED e seu uso em iluminação.

## **2.4 LED como uma tecnologia para iluminação com menor consumo energético**

### **2.4.1 Breve Histórico**

LED é a sigla para “Light Emitting Diode” (diodo emissor de luz). Ele é um semicondutor que quando submetido a corrente elétrica, emite radiação sob a forma de luz. (HOWARD et al, 2011)

O primeiro LED com espectro de luz visível surgiu em 1962. Ele foi desenvolvido por um engenheiro da GE (General Electric) chamado Nick Holoniak Jr. Este LED foi produzido unicamente na cor vermelha e tornou-se comercialmente viável no final da década de sessenta tendo a empresa Monsanto como a primeira entidade a produzir o LED em larga escala (SCHUBERT, 2003). Esse LED não era brilhante o suficiente para iluminação e era usado apenas como indicador em aparelhos como televisores e calculadoras (VOCHIN, 2009). Em 1972, utilizando outros componentes semicondutores, George Craford, conseguiu abranger novas esferas de cor, criando o LED vermelho brilhante, o LED alaranjado e um LED verde pálido. Ao combinar chip vermelho e verde, Craford conseguiu produzir o primeiro LED amarelo (Edison Tech Center, 2012). Em 1993, através das pesquisas de Shuji Nakamura para a empresa japonesa Nichia, foi desenvolvido o primeiro LED na cor azul (FORCOLINI, 2011). Isso permitiu gerar pela primeira vez, com a combinação das três cores primárias, a luz branca através de LEDs (YAM e HASSAN, 2004). Juntamente com o desenvolvimento do LED azul, Kensho Sakano também pesquisador da empresa Nichia, realizou experimentos incorporando camadas de fósforo amarelo como revestimento do diodo azul, que reagindo com a luz, resultou na emissão de luz branca (BUSH, 2012).

Essa nova geração de LEDs promoveu um salto tecnológico na iluminação, onde o uso do LED foi ampliado, passando a ser destinado a situações não antes possíveis. Desde então, o uso dos LEDs de emissão branca tem se expandido fortemente, podendo ser encontrado em uma vasta variedade de produtos, desde lanternas para automóveis, celulares e luminárias.

## 2.4.2 Características Técnicas do LED

A grande diferença desta tecnologia em relação às formas convencionais de iluminação artificial é o modo de gerar luz, que ao invés de produzi-la por aquecimento de material como ocorre na lâmpada incandescente, ou pela ativação de um gás como ocorre na lâmpada fluorescente, esta é gerada pela ativação de material em estado sólido. (FORCOLINI, 2011)

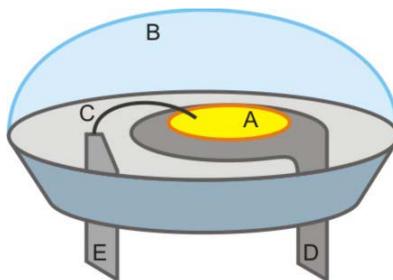


Figura 2. 14: LED *packaging* composto por: *die* (A), lente isolante (B), condutor de conexão (C), cátodo (D), ânodo (E).

Fonte: Adaptado de Quintessence (2008)

Diodo é todo dispositivo ou componente eletrônico composto por material semicondutor que é alimentado por uma corrente elétrica que transita do cátodo – negativo – para o ânodo – positivo. No caso do LED o material semicondutor é dopado de alguns compostos químicos, para obter as radiações de luz desejadas onde é devidamente isolado para proteção da corrente elétrica. A esse conjunto é dado o nome de “*packaging*” (Forcolini, 2011).

## 2.4.3 Tipologias do LED

Atualmente no mercado existem duas tipologias de LEDs, são elas:

### 2.4.3.1 LEDs de Baixa Potência

São LEDs de pequeno tamanho e geralmente apresentam pequena potência (watt). Geralmente produzem de 2 a 4 lumens. São mais encontrados como componentes THT (through-hole-technology) (FORCOLINI, 2011). Componentes THT são fixados na placa eletrônica através de um furo, do lado oposto do circuito eletrônico.

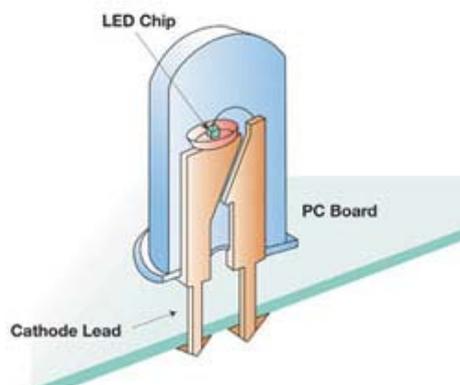


Figura 2. 15: Exemplo de LED THT.

Fonte: David Darling (2012)

### 2.4.3.2 LEDs de Potência

São packages de potência superior a 1watt. Esses LEDs trabalham com correntes de alta amperagem (350 a 1500 mA), podendo produzir até 115 lumens/W segundo os fabricantes atuais e necessitam de um gerenciamento térmico para extração do calor gerado. Geralmente são componentes SMD (surface-mount-device) (Forcolini, 2011). Componentes SMD são fixados na placa eletrônica no mesmo lado do circuito. Isso permite a otimização da placa eletrônica que pode ser usada de ambos os lados.

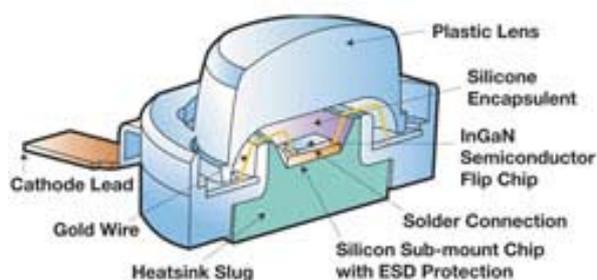


Figura 2. 16: Exemplo de Power LED e seus componentes.

Fonte: David Darling (2012)

Com relação e emissão de calor o LED de potência dificilmente produz radiações infravermelho (IR), induzindo-nos a pensar que ele não emite calor. Porém há alto fluxo de corrente elétrica ocasionando aumento da temperatura de operação do diodo. O calor emitido não é

fruto de IR, mas da descarga que é absorvida pela placa (vide figura --) na qual o die é soldado. Desse modo o calor é dissipado para parte de trás (QUINTESSENCE, 2008).

Como o LED de potência possui uma temperatura de operação ideal para manter a vitalidade do sistema, torna-se necessário o uso de um dissipador que pode ser ativo ou passivo. Isso significa que para um sistema LED operar sob a forma ideal é necessário considerar o controle de sua temperatura ideal de funcionamento, caso contrário todos os benefícios presentes nesta tecnologia podem não ser aproveitados. A figura a seguir demonstra a queda drástica da vida útil LED em função da alta temperatura de operação. Trabalhar com o LED fora da temperatura ideal também altera o fluxo luminoso, que é diminuído quando a temperatura se eleva (FORCOLINI, 2011).

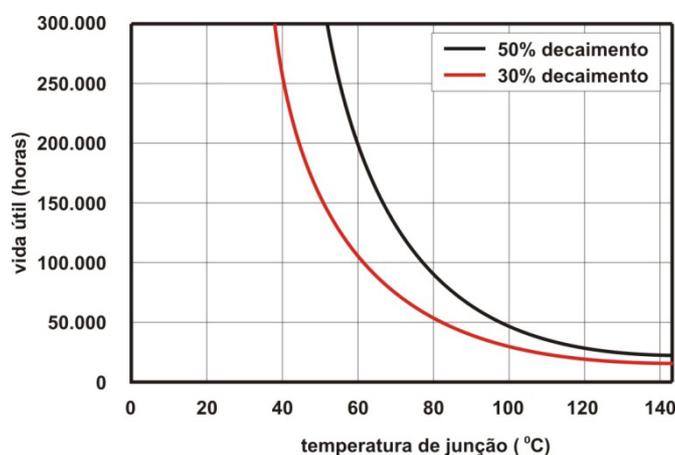


Figura 2. 17: Relação da temperatura de operação do LED e a vida útil.  
Fonte: Forcolini (2011)

Necessitando do uso do dissipador para ideal operação de um LED de potência, podemos considerar que um módulo LED de potência é composto por:

- packaging – fonte emissora de luz
- circuito impresso – suporte de ancoragem mecânico/elétrico
- controlador – fonte / drive
- dissipador térmico – responsável pelo controle do calor

#### 2.4.4 Obtenção da luz branca através do uso de LEDs

Como foi descrito anteriormente, a obtenção da luz branca com a tecnologia LED pode ser obtida sob o sistema RGB ou com o uso de LEDs azul ou ultra-violeta com cobertura de fósforo. Porém, ambos os casos tem suas particularidades sendo suas vantagens e desvantagens descritas no quadro a seguir.

Quadro 2. 3: Comparativo entre as tecnologias para produção da luz branca em LEDs.

Fonte: Adaptado de US. Department of Energy, 2008

Tecnologia de LED branco	Vantagens	Desvantagens
<b>LED Azul + camada de fósforo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecnologia madura.</li> <li>- Manufatura de larga escala.</li> <li>- Alto fluxo luminoso.</li> <li>- Alta eficiência.</li> <li>- Comparativamente menor custo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta incidência de azul</li> <li>- Cores quentes possuem custo mais elevado</li> <li>- Possuem variação de tonalidade dentro da mesma faixa de temperatura de cor.</li> </ul>
<b>LED RGB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidade de cor em ambos os espectros de cor e temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cores individuais possuem resposta diferente a corrente do drive.</li> <li>- Controladores para consistência da cor são de custo elevado.</li> <li>- Possuem baixo índice de reprodução de cor (IRC) apesar da boa variedade de cores.</li> </ul>

No primeiro, há que considerar que os LEDs de cada cor sofre desgaste desigual devido a diferença de material compósito. Isso produz no longo prazo um branco desigual que penderá para um espectro de cor. No segundo caso, a qualidade do branco depende da cobertura de fósforo, que pode não ser idêntica de um lote de produção para outro, ocasionando problemas de variação na mesma faixa de temperatura de cor (YAM e HASSAN, 2005).

#### 2.4.5 Relação do conjunto de alimentação elétrica do LED

Todo LED precisa da adequação do sinal elétrico para funcionar. Atualmente no mercado existem dois tipos de soluções para alimentação elétrica aplicáveis aos LEDs.

A primeira delas é a solução completa composta por um *chiplid* (vide exemplo na figura a seguir), que já vem com um componente de potência instalado na placa permitindo sua ligação diretamente na fonte de corrente alternada de alimentação - rede elétrica 110V.

Porém há que considerar que a energia fornecida pelas distribuidoras é oscilante e esta oscilação é transmitida para o *chiplid*, pois este não possui um mecanismo de sensoriamento que estabilize o sinal fornecido.

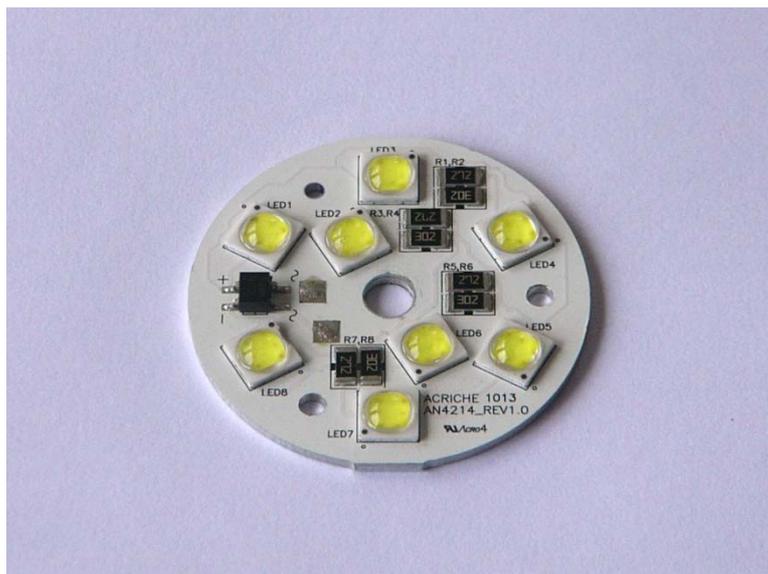


Figura 2. 18: Exemplo de LED com componente de potência embutido.  
Fonte: Autor, 2012

Desse modo o conjunto é exposto as variações da corrente elétrica implicando em:

- *variações de luminosidade* – quanto maior a corrente, maior a luminosidade. Assim quando a corrente cai (por exemplo, quando liga-se o chuveiro) a luminosidade fornecida pelo LED também cai.
- *possível redução da vida útil do LED* – pois o LED poderá trabalhar em corrente acima da nominal. Sendo assim, em hipótese, haverá dano ao *die*.
- *alteração da temperatura de cor* – todo LED sofre alteração de temperatura de cor de acordo com a corrente oferecida.

A segunda solução, apresentada na Figura 2.19, é mais complexa e não possui o driver embutido, pois é comercializado apenas o LED *package*. Por isso, há a exigência do projeto tanto da placa eletrônica que suportará os LEDs assim como o desenvolvimento da estrutura de alimentação elétrica que deverá chegar ao diodo, ou seja, há a necessidade do uso de um

*driver* – fonte controladora. A fonte controladora permite a saída estável para alimentação de energia, corrigindo a variação do sinal elétrico proveniente da oscilação da rede.



Figura 2. 19: Exemplo de LED, que necessita do uso do drive.

Fonte: Autor (2012)

Cada uma dessas soluções possui suas vantagens e desvantagens para o projeto de um sistema de iluminação que são apresentadas a seguir:

Quadro 2. 4: Vantagens e desvantagens das tipologias do led de potência.

LEDs	Vantagens	Desvantagens
<p><b>LEDs com componente de potência embutido</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite menor complexidade no desenvolvimento de produtos.</li> <li>- Menor tamanho do conjunto funcional do LED.</li> <li>- Pode ser ligado diretamente a corrente, sem a necessidade do uso de fontes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É vulnerável a oscilação da rede elétrica, podendo sofrer danos no diodo.</li> <li>- Processo de dimerização duvidoso devido a baixa frequência.</li> <li>- Trabalha com frequência baixa (60 Hz), podendo causar fadiga visual.</li> <li>- O LEDs são conectados em série. Isso implica que a falha de um componente pode comprometer o conjunto.</li> <li>- Trabalha com corrente não linear, malha aberta.</li> <li>- Perda de energia pelo resistor, diminuindo a eficiência energética.</li> </ul>

<p><b>LED Package com drive separado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabalha com corrente linear, malha fechada.</li> <li>- Permite customizar a placa eletrônica de acordo com necessidade do usuário.</li> <li>- Possibilita a integração com outros dispositivos, como sensores e controladores eletrônicos.</li> <li>- Possibilita a integração com softwares.</li> <li>- Maior eficiência energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita do desenvolvimento de um sistema de controle - drive.</li> <li>- Projeto complexo demandando mais tempo.</li> <li>- Maior dimensão do conjunto funcional.</li> <li>- Maior custo final.</li> </ul>
--	---	---

A tecnologia LED, mais especificamente os LEDs de potência aplicados a iluminação são tratados como um sistema de configuração flexível, possibilitando amplas variáveis nos projetos luminotécnicos, como a possibilidade de configuração e customização de placas eletrônicas e dos *packagings*. Esta característica exige mais tempo para execução num projeto, mas pode apresentar resultados mais interessantes. No entanto, isso exige essencialmente o aporte de um grupo de engenharia eletrônica para uma correta definição do sistema de iluminação. Ao mesmo tempo exige do designer um conhecimento básico de eletrônica para dialogar com a engenharia e explorar com mais vigor as potencialidades que a tecnologia oferece.

## **2.4.6 Comparações entre o LED e as Tecnologias Atuais de Iluminação**

### **2.4.6.1 Diferenças no Consumo de Energia entre as tecnologias**

Os dispositivos tecnológicos disponíveis para iluminação mais utilizados pela população de baixa renda atualmente estão restritos ao uso da lâmpada incandescente e da lâmpada fluorescente, mais especificamente, ao uso da lâmpada fluorescente compacta (FLC). Esta última tem sido amplamente difundida e incentiva ao uso com a intenção de economia de energia, no entanto é importante verificar aspectos como a eficiência luminosa e desempenho ambiental.

A eficiência luminosa é o resultado da relação entre o fluxo luminoso e a potência elétrica absorvida pela fonte de luz. Porém, como coloca Forcolini (2011), luz e eletricidade são dois

fenômenos distintos, onde o primeiro é fenômeno perceptivo e o segundo um fenômeno físico. Portanto, sob este ponto, será mais eficiente aquela fonte luminosa que emite maior parte da radiação visível dentro do espectro mais sensível do olho humano, como apresentado na Figura 2. 2.

O balanço energético dos três tipos tecnologia para iluminação, lâmpada incandescente, lâmpada FLC e LED, podem ser visualizadas na figura a seguir. Os valores apresentados não são absolutos e podem variar entre diferentes fabricantes. Percebe-se que grande parte da energia depositada na lâmpada incandescente é transformada em calor e apenas 5% é destinado à produção de luz visível. Já a lâmpada FLC, possui um aproveitamento energético melhor, onde 21% da energia é transformada em luz visível. Já num sistema LED apenas 15% da energia é transformada em luz, o restante é transformado em calor. Interessante notar que, assim como a lâmpada incandescente, no sistema LED a maior parte da energia também resulta na produção de calor.

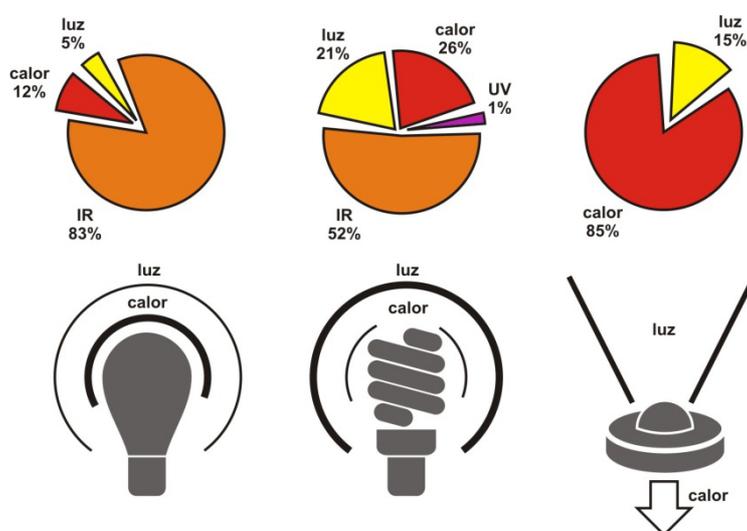


Figura 2. 20: Balanço energético das lâmpadas em função de seu funcionamento.

Fonte: Adaptado de Energy Star (2012) e Forcolini (2011)

Estima-se que o potencial em larga escala de economia em energia elétrica proporcionado pelo LED é elevado. O programa Energy Star da Agência de Proteção Ambiental e do Departamento de Energia dos EUA (EPA, 2012), estima que a rápida adoção por sistemas LED poderiam proporcionar a redução na demanda de energia elétrica destinada a iluminação em até 33%, evitando a construção de novas usinas.

### 2.4.6.2 Impactos Ambientais das Lâmpadas Incandescentes

Em um estudo sobre análise do ciclo de vida, Gydesan et al (1991) apresenta que uma lâmpada incandescente, em sua fase de uso, pode emitir mais mercúrio para a meio ambiente que uma lâmpada FLC, quando a matriz energética for proveniente de uma termoelétrica a carvão. No caso brasileiro, isto ocorre quando o controlador do grid nacional aciona as termoelétricas. A Environmental Protection Agency/Energy Star (2012) também considera que a substituição das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas FLC ajuda a reduzir a emissão de mercúrio, pois isso reduz a demanda de energia que por sua vez reduz a quantidade de carvão mineral queimado nas usinas. Desse modo o mercúrio proveniente da lâmpada FLC é menor que o produzido pela queima do carvão para abastecer uma lâmpada incandescente em todo seu ciclo de vida. Num outro estudo, da NEMA – National Electrical Manufacturers Association (2005), aponta que a lâmpada incandescente emite indiretamente até 7 vezes mais mercúrio do que uma lâmpada FLC, como pode ser visualizado no gráfico a seguir.

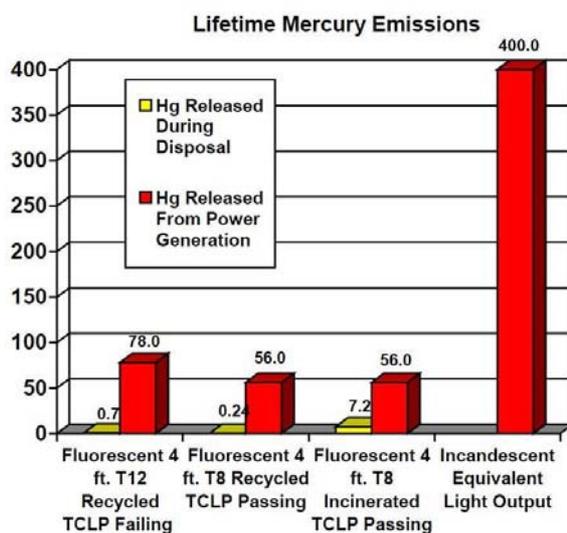


Figura --: Emissões em miligramas de mercúrio por modelo de lâmpadas.

Fonte: NEMA (2005)

Porém esses dados são relativos ao contexto dos EUA, onde a maior parte da produção de energia elétrica provém de combustíveis fósseis (CNI, 2007). No Brasil, as hidroelétricas respondem por cerca de 77,4% (ANEEL, 2008) da produção de energia elétrica e são consideradas fontes renováveis, isentas da emissão de mercúrio. Sendo assim, os resultados da emissão de mercúrio pela lâmpada incandescente provavelmente devem ser diferentes. O estudo de PARSONS (2006) demonstra que quando se altera a matriz energética, o impacto ambiental entre as lâmpadas muda drasticamente.

O estudo de Bastos (2011) faz uma projeção do potencial técnico da redução de emissão de CO<sub>2</sub> dentro do contexto nacional a partir da substituição da lâmpada incandescente pela fluorescente compacta. Neste estudo, o potencial de redução é da ordem de 12,7 MtO<sub>2</sub> até o ano de 2030.

#### **2.4.6.3 Impactos ambientais das Lâmpadas FLC**

De acordo com a Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE, 2012) as lâmpadas fluorescentes compactas – FLC utilizam entre 25% a 35 % da energia usada pelas lâmpadas incandescentes para prover a mesma quantidade de iluminação, sendo que elas também possuem vida útil 8 vezes superior. No Brasil a produção, importação e comercialização de lâmpadas fluorescentes somam aproximadamente 40 milhões de lâmpadas por ano (MMA, 2007). Embora o governo incentive a substituição da lâmpada incandescente para a lâmpada FLC com argumento da economia energética, esta mudança pode trazer alguns efeitos rebotes.

Em sua composição, uma lâmpada FLC possui entre 15 e 5mg de vapor de mercúrio no interior do bulbo, além de um chip eletrônico composto por aproximadamente 24 componentes. Por conter mercúrio a lâmpada FLC é um objeto capaz de produzir elevados níveis de impactos ambientais quando descartada incorretamente ou intoxicar irreversivelmente o usuário quando ela se quebra dentro de um ambiente residencial. Um estudo de Cardoso et al (2002) apresenta uma revisão bibliográfica sobre os efeitos biológicos do mercúrio em seres humanos e aponta que esta substância pode acarretar severas doenças, abrangendo desde efeitos citológicos e reprodutivos até neurológicos.

O mercúrio é um metal pesado que pode contaminar o solo, as águas e conseqüentemente os animais atingindo as cadeias alimentares (biomagnificação). Os consumidores industriais e comerciais têm se adequado as legislações e normas ambientais de descarte controlado. Porém, no que tange ao uso residencial, não há alguma política pública efetiva no controle do resíduo ou mesmo informação para sua correta destinação. Geralmente a lâmpada FLC é descartada juntamente com outros resíduos inertes pela maioria da população (Naime e Garcia, 2004) e (Santos et al, 2011).

O impacto ambiental gerado por apenas uma lâmpada poderia ser desprezível, porém se tratarmos a questão em grande escala, o impacto pode ser catastrófico. Se considerarmos que

cada lâmpada fluorescente pode poluir até 20 mil litros d'água por conter cerca de 15mg de mercúrio (Global Garbage, 2010) e que o país pretende substituir cerca de 300 milhões de lâmpadas incandescentes por lâmpadas FLC nos próximos anos (MME, 2011), pode-se prever que num futuro bem próximo, caso não haja um processo de gestão deste passivo, serão despejados no meio ambiente cerca algumas toneladas de mercúrio provocando um grande impacto ambiental.

As lâmpadas FLC também são consideradas perigosas à saúde quando seu invólucro é quebrado e o mercúrio presente em seu interior espalha-se no ambiente doméstico. Um estudo realizado por Chandrasekhar (2007) demonstra que quando uma lâmpada FLC é quebrada, os níveis de mercúrio no ar ficam muito acima das diretrizes permitidas, tornando ar do ambiente extremamente contaminado, caso não haja ventilação do local. Com o intuito de evitar a contaminação, Howard et al (2011) assim como a EPA (2012) e Groth (2008) recomendam uma série de procedimentos a serem executados quando uma lâmpada FLC se rompe dentro do ambiente doméstico.

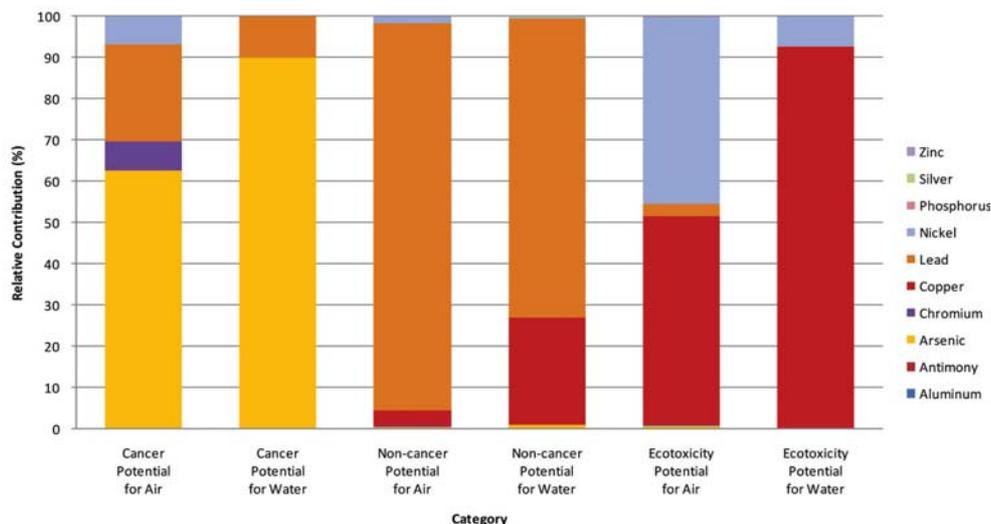
A portaria interministerial N°1008 do Ministério de Minas e Energia prevê um plano de eficiência energética para as lâmpadas FLC, porém as iniciativas criadas pelo Ministério do Meio Ambiente com recomendações relativas às lâmpadas fluorescentes prevendo procedimentos para fabricação e padronizações sobre a quantidade de mercúrio contido nas lâmpadas ainda não foi regulamentado. Mesmo com o estabelecimento da Norma ABNT NBR 10.004 (2004) que trata da classificação dos resíduos sólidos e que classifica as lâmpadas com vapor de mercúrio como sendo de característica de periculosidade tóxica (resíduo perigoso - classe 01), não é percebida nenhuma iniciativa no sentido de informar o consumidor sobre os perigos do mercúrio presente nas lâmpadas, nem tão pouco, dos procedimentos que devemos tomar quando ela se quebra dentro da residência.

Observa-se também que no mercado nacional não existe uma política de informação a respeito dos danos potenciais que as lâmpadas FLC podem causar tanto à saúde do consumidor quanto ao correto descarte para evitar a contaminação do meio ambiente. A norma NBR 14.538/2000 assim como a Portaria 289/2006 do INMETRO, que aponta sobre o dever de expor na embalagem do produto a presença do metal mercúrio, no entanto essa importante informação é mencionada sem destaque pelos importadores e fabricantes. Também não há informação sobre quais os procedimentos devem ser tomados quando uma lâmpada deste gênero se rompe no ambiente doméstico.

A campanha para economia de energia na baseada substituição das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas FLC em larga escala, pode trazer a economia de energia, porém com um efeito rebote para o meio ambiente através do mercúrio contido em seu invólucro. É necessário o governo criar ações urgentes para regulamentar uma logística reversa à destinação final das lâmpadas FLC, assim como criar agendas de informação ao cidadão sobre os perigos do mercúrio quando este se dispersa no ambiente doméstico.

#### **2.4.6.4 Impacto ambiental do LED**

Lim (2011) apresenta um estudo para determinar se os LEDs geram impactos ambientais. Ele comenta que um LED chip contém substâncias como Arsênio, Galio, Índio que podem causar severos danos a saúde humana e toxicidade de ambiente. Além disso, na produção do LED, são utilizados metais como cobre, ouro, níquel e chumbo. Os resultados desse estudo indica que os LEDs de emissão de luz vermelha possuem os mais altos níveis de toxicidade, enquanto os LEDs de luz branca possuem um baixo nível toxicidade, devido à ausência de arsênio e chumbo. Dessa forma, o LED deve ser considerado como um resíduo eletrônico. O mesmo estudo ainda aponta para novos estudos de impactos ambientais considerando também o impacto ambiental das placas de soldagem, de modo a formar um conjunto de informações mais sólido a respeito desta tecnologia. O autor ainda comenta que há falta de uma base de dados sobre a real toxicidade dos metais semicondutores utilizados nos LEDs (LIM, 2011). A figura a seguir ilustra as relações entre as substâncias contidas no LED e seu malefício.



-Note: the substances Ga, Au, In and Fe are not included in the TRACI

database.

(b)

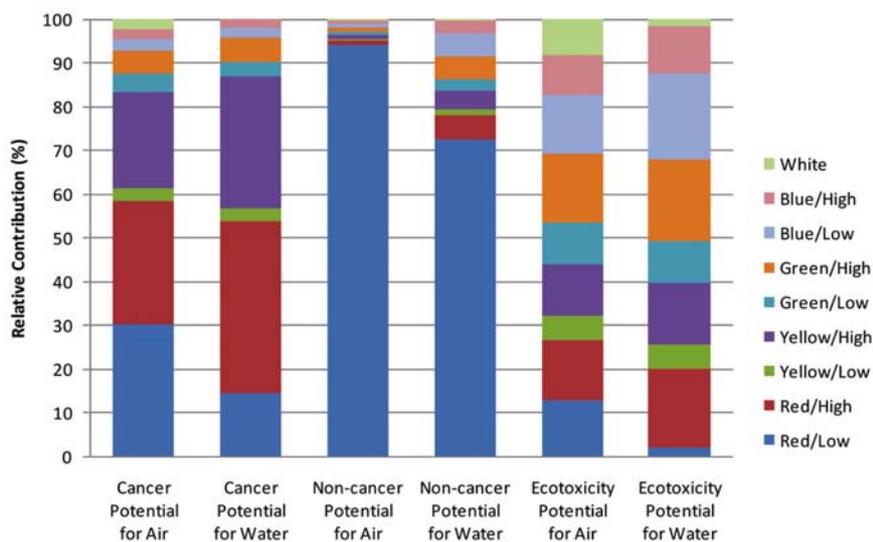


Figura 2. 21: Substâncias tóxicas presente nos LEDs

Fonte: Lim et al (2011)

Entre as substâncias tóxicas carcinogênicas o Arsênio é que apresenta a maior contribuição. Em relação aos tipos de LEDs, o que emite a luz vermelha apresentou os níveis mais altos de contaminação.

Porém há a que considerar variações nos processos de fabricação dos LEDs de potência de emissão da luz branca entre as empresas, visto que muitas delas o fazem de modo diferente, devido às patentes industriais incidentes nos processos fabris (Stevenson, 2009).

Do mesmo modo que a lâmpada FLC, a tecnologia LED também possui substâncias tóxicas como demonstrado anteriormente e deve ser tratado como resíduo controlado. A necessidade da presença do driver para funcionamento do LED exige mais componentes eletrônicos que

também devem ser considerados como resíduo controlado uma vez que seus componentes são de difícil separação.

#### **2.4.6.5 Vantagens e Desvantagens do LED**

De acordo com Forcolini (2011) o sistema LED pode ser considerado um produto com desempenho ambiental superior se comparado às tecnologias anteriores de iluminação devido aos seguintes pontos:

1. Usa uma menor quantidade de material para ser produzido;
2. Há uma drástica diminuição do tamanho (minituarização) que simplifica enormemente a movimentação de material de entorno como embalagens, transportes distribuição comercial e logística;
3. Não contém filamentos ou partes em vidro que exigem cuidado em relação a vibração e a proteção contra choques mecânicos;
4. As partes componentes do LED são facilmente separáveis e recicláveis;
5. Possui fácil integração com as tecnologias fotovoltaicas de geração de energia;
6. A eficiência luminosa é elevada;
7. A vida útil é elevada, cerca de 5 vezes a de uma lâmpada FLC.

A baixa potência de funcionamento e sua pequena dimensão abrem o campo para modularização da fonte luminosa, repercutindo na flexibilidade do uso da luz.

Embora o LED apresente uma série de vantagens de ordem funcional, a Agência Francesa para Alimentação, Saúde Ambiental e Ocupacional – ANSES (2010), publicou um relatório sobre os danos causados pela emissão da luz de sistemas LED. De acordo com a agência, para iluminação em interiores os LEDs são pontos de luz altamente concentrados, provocando desconforto visual, uma vez que o ponto de luz pode ser até 1000 vezes mais intenso que aceitável.

Outro ponto apresentado é que há um desgaste progressivo da camada de fósforo utilizada nos LEDs de emissão de luz branca, podendo levar os dispositivos à progressiva elevação da emissão de luz azul. Isso pode provocar danos a estrutura celulares da retina de populações sensíveis (ROBERTS, 2011).

A Agência de Proteção Ambiental através da Energy Star realiza testes com sistemas LED presentes no mercado. Foram relatadas falhas em projetos mal elaborados onde após um ano o LED pisca, muda de cor, usa energia quando desligado entre outros problemas. Um exemplo pode ser observado na figura a seguir, onde após mil horas de uso a condição de iluminação sofreu alteração, provocando desconforto visual e alteração da tonalidade da luz branca.

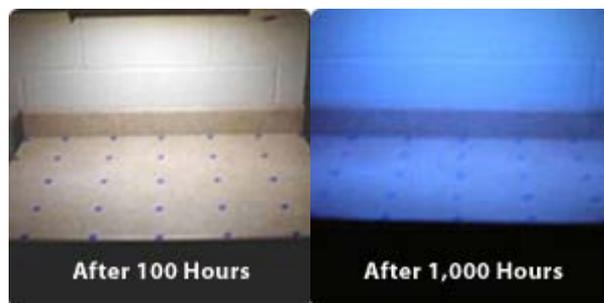


Figura 2.22: Mudança de cor de LED de baixa qualidade após mil horas de uso.

Fonte: Energy Star (2012)

Texyt (2011) relata uma série de complicações a saúde devido a aplicação do LED azul em produtos. Muitos usuários passaram a reclamar da alta intensidade da luz azul, pois esta afetava a concentração no campo de visão. A razão disso deve-se em parte ao efeito de *Purkinje* – que altera a sensibilidade relativa do olho, da visão fotópica para escotópica (onde o pico de sensibilidade altera-se de 555nm para 510nm). Outra face negativa do LED azul reportada é que ele afeta o funcionamento do ciclo circadiano, pois a radiação azul age mais intensamente no bloqueio da melatonina, fato constatado no tópico 2.2.3.

Mills (2005) aponta que devido as restrições impostas pelas patentes dos fabricantes de LEDs brancos (que provêm dos LEDs azuis) muitas empresas estão buscando trabalhar com os LEDs em faixas de frequência diferenciadas como a ultra-violeta, que combinadas a camada de fósforo amarelo, também podem produzir a luz branca. Isso tem provocado uma corrida ao desenvolvimento de novas combinações químicas que compõe o *die*. No entanto, essas novas descobertas devem ser acompanhadas com cautela, pois caso haja o desgaste prematuro das camadas de fósforo como aponta Yam et al (2005) haverá risco para a saúde dos olhos devido a emissão de UV.

Outro ponto a ser salientado é que as características de flexibilidade e baixo consumo energético dos sistemas de iluminação LEDs trazem consigo um potencial efeito-rebote bem característico. Como aponta Decker (2008) os projetistas passaram a iluminar lugares e situações que antes não eram iluminados, numa ânsia de revolucionar os objetos e lugares. O

LED não está somente substituindo as lâmpadas incandescentes e lâmpadas FLC, eles estão substituindo uma fachada não iluminada, por uma fachada com luz.



Figura 2.23: Um lugar que antes não era iluminado. Efeito-rebote da tecnologia.  
Fonte: Low Tech Magazine, 2008.

O que se verifica nesse caso é que não importa o quanto se economiza na luminária individualmente, mas o impacto resultante no consumo de energia. O aumento da demanda energética pode não acontecer, mas muitos outros locais poderão ser iluminados provocando poluição luminosa, afetando o meio ambiente. O quadro abaixo resume os pontos positivos e negativos nas tecnologias atuais de iluminação.

Quadro 2. 5: Comparativo entre as lâmpadas.

Fonte: Adaptado de Greenwise (2011)

TECNOLOGIA	PRÓS	CONTRAS
<b>INCANDESCENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo</li> <li>- Boa reprodução de cor</li> <li>- Variedade de shapes</li> <li>- Tecnologia simples</li> <li>- Dimerizáveis</li> <li>- Fácil descarte</li> <li>- Nível de luminância máximo assim que é ligada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de eletricidade</li> <li>- Alta saída de calor</li> <li>- Vida útil curta</li> </ul>
<b>FLUORESCENTE COMPACTA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficientes energeticamente</li> <li>- Possibilidade de escolha da temperatura de cor</li> <li>- Baixo custo de operação</li> <li>- Baixa produção de calor</li> <li>- É fonte de luz difusa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade de dimerização</li> <li>- Contém substâncias tóxicas (mer-cúrio) e componentes eletrônicos</li> <li>- Deve ser descartada como resíduo tóxico controlado</li> <li>- Demora a atingir o nível máximo de fluxo luminoso.</li> </ul>
<b>LED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Eficiente</li> <li>-Longa vida útil</li> <li>-Dimerizável</li> <li>-Alta variedade de cores</li> <li>-Flexibilidade de configuração</li> <li>-Nível de luminância máximo assim que é ligada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto custo de investimento</li> <li>- Perde eficiência com o tempo</li> <li>- Tecnologia em constante mudança</li> <li>- Fonte de luz pontual</li> <li>- Pouco estudo sobre seu impacto na saúde</li> <li>- Variação em relação abinagem.</li> </ul>

A tecnologia LED é um novo modo de pensar um projeto de iluminação, pois permite a incorporação de dispositivos digitais. É possível dizer que é a “luz digital”. Isso representa uma divisão com os modelos tradicionais de pensar projetos luminotécnicos abrindo um campo abrangente a ser explorado ao incorporar outros mecanismos como a eletrônica e a computação. Isso é motivador, pelas possibilidades que se criam, como também assustador, pelo possível efeito rebote que pode causar no seu uso indevido. Por isso, nesse novo campo aberto pela tecnologia, o design com sua visão sistêmica, tem um importante papel de contribuir ao ser uma bússola para apontar direções de um uso mais apropriado e racional da tecnologia contribuindo para um mundo mais sustentável.

Procurou-se neste tópico tratar do estado da arte da tecnologia LED de modo a verificar a possibilidade que a tecnologia oferece para explorar novas abordagens para o design de sistema e de produtos.

#### **2.4.7 Considerações**

Ao configurar um projeto de iluminação o projetista de levar consideração alguns aspectos importantes relativos a tecnologia LED.

Embora atualmente no mercado existam lâmpadas LED a venda, esta tecnologia é mais aplicada a um sistema de iluminação devido a sua flexibilidade projetual e capacidade de customização. Desse modo o diodo emissor de luz é apenas uma parte de todo um sistema de iluminação, condicionando seu desempenho ao correto funcionamento dos artefactos de entorno, como componentes do drive e dissipadores. A falha de qualquer um desses componentes pode comprometer o desempenho de todo o sistema.

A tecnologia LED está em processo de evolução tecnológica contínua. Devido a concorrência e ampliação do mercado por parte das empresas, há uma esforço para lançar cada vez mais novos produtos e novos níveis de desempenho. Sob o ponto de vista do Design para Sustentabilidade esta é uma tendência positiva, mas que carrega em si um importante risco. De fato, uma grande dúvida é a garantia de que o sistema produzido atualmente permanecerá no mercado até o final de sua vida útil, permitindo a manutenção ou substituição.

Por possuir extensa vida útil o LED pode ficar rapidamente obsoleto por um novo sistema mais eficiente, forçando uma substituição e antecipando o descarte, assim como ocorre com os telefones celulares.

Será um grande desafio para as empresas manter sistemas menos eficientes apenas para atender projetos já configurados e instalados. Sendo assim, os sistemas atuais devem ser configurados para permitir um upgrade.

Outro aspecto importante indentificado é que lotes diferentes de fabricação dos *packagings* podem apresentar pequenas variações na temperatura de cor (binagem). Isso pode afetar a estética de projetos no momento da manutenção do sistema, caso não haja uma documentação eficiente do produto.

Atualmente o custo inicial para instalação de um sistema LED ainda é elevado. Considerando que o retorno financeiro ocorre em longo prazo, uma pequena variação na tarifa da rede elétrica, durante em todo o período de uso pode afetar o resultado de *payback*<sup>5</sup>.

Para se ter acesso a uma lâmpada LED, ou mesmo um sistema de iluminação LED, é necessário atualmente um alto valor de investimento. Em se tratando de uma população de baixa renda, o acesso a esta tecnologia é um desafio devido ao baixo poder aquisitivo desta população.

O retorno do investimento em sistema LED está baseado em dois fatores chave. Primeiro, no baixo consumo de energia elétrica e segundo, na longa vida útil do sistema, evitando a compra contínua de novas fontes de iluminação.

Porém esses incentivos possuem um efeito contrário para adoção da tecnologia LED em baixa renda, uma vez que essas medidas anulam um dos fatores chave para o retorno do investimento, não tornando atrativo ao usuário a troca por um sistema de iluminação de menor consumo de energia, pois com a energia subsidiada, o *payback*<sup>6</sup> torna-se mais demorado e o retorno do investimento será suportado apenas na substituição das fontes luminosas.

Há que salientar que embora um sistema de iluminação baseado em LEDs seja mais elevado economicamente, ele pode oferecer mais possibilidades para o designer atingir a unidade de satisfação do usuário, visto que ele permite a incorporação de mecanismos de controle da luz.

---

<sup>5</sup> O *payback* é utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento e deve ser usado apenas como um indicador. *Payback* é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento

Porém o custo de investimento inicial em um sistema LED é ainda um impeditivo para sua instalação ampla nas habitações de interesse social que são constituídas por famílias de baixa renda. Obviamente, tendo em vista a dificuldade da população de baixa renda em efetuar investimentos com um horizonte de longo prazo, este tipo de investimento provavelmente carecerá de apoio do governo ou das companhias de distribuição de energia elétrica para viabilizar sua implementação no curto prazo.

A popularização do uso dos LEDs pode proporcionar uma conservação de energia ainda maior que o estimado pelo governo quando apresentou a Portaria Interministerial 1.007/10 (Bastos, 2011). Porém, nesta pesquisa constatou-se que há disparidade em relação a eficiência energética divulgada pelos fabricantes e a obtida nos testes de laboratórios.

### **3 MÉTODO DE PESQUISA**

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para condução deste estudo, incluindo os critérios para seleção do método de pesquisa, o protocolo de coleta de dados e a estratégia de análise.

#### **3.1 Caracterização do Problema**

O design de produtos para iluminação em via de regra se atém ao artefato tão somente, não havendo clara integração com uma visão sistêmica, que vislumbre inclusive o provimento de iluminação como um serviço e não como a mera venda de artefatos.

Esse fato aponta para um amplo potencial de melhoria do conforto lumínico associado a eficiência energética através de um produto integrado a um sistema produto-serviço destinado às habitações de interesse social.

A temática de sistemas produto+serviço, por sua vez, já vem sendo estudada no âmbito do Programa e Pós-Graduação em Design ao longo de dissertações consecutivas, destacando-se Sampaio (2008), Giacomini (2010) e Costa (2012).

Contudo, é na aplicação deste arcabouço teórico especificamente para a temática do conforto lumínico e mais especificamente no âmbito da habitação de interesse social que permite sua classificação como exploratório.

Os estudos relacionados à eficiência energética e iluminação no Brasil passaram a ganhar destaque a partir de 1991 quando foi realizado o I Encontro Nacional de Normalização Ligado ao Uso Racional de Energia e Conforto Ambiental em Edificações. O intuito deste encontro foi definir as diretrizes básicas para o desenvolvimento da normalização brasileira. No entanto, as recomendações oriundas deste evento abrangeram somente a iluminação natural (GHISI, 2002).

Esses estudos tratam o problema sob a perspectiva da APO – Avaliação Pós-Ocupação, sendo a grande maioria desenvolvidos por pesquisadores com formação em arquitetura e interessados em aperfeiçoar o desenho da edificação como um todo. São poucas as dissertações encontradas que tratem de alternativas mais sustentáveis no provimento de luz artificial.

A maior parte das pesquisas relacionadas a eficiência energética voltadas a iluminação artificial estão relacionadas às áreas de conhecimento da Arquitetura (7), Engenharia Elétrica (2) e Engenharia Civil (2). Dentre os estudos identificados sobre esse tema, não foi identificado no Banco de Dissertações e Teses da CAPES trabalhos tratando da aplicação da tecnologia LED para iluminação residencial como instrumento de economia de energia. Essa pesquisa utilizou as palavras-chave: “eficiência energética”, “design e iluminação” e “iluminação LED”. Durante o período desta pesquisa, não foi encontrada nenhuma dissertação ou tese que tratasse o tema LEDs ao campo do Design, tendo como ano base o período desde o ano 2000 (CAPES, 2012).

Conclui-se, desta forma, que tanto a natureza do problema quanto a própria aplicação do objeto no universo da habitação de interesse social resultam na caracterização desta dissertação como de natureza exploratória. De acordo com Gil (2010), pesquisas desta natureza procuram contribuir para ampliação do entendimento do comportamento do objeto pesquisado, possibilitando que investigações subsequentes possam estabelecer as relações de causa-efeito.

Do ponto de vista de sua abordagem a pesquisa pode ser considerada qualitativa, quando a natureza do problema demanda a obtenção de dados e informações qualitativas do usuário. Por outro lado a pesquisa também tem características quantitativas, tendo em vista que a avaliação do produto por se deverá demandar experimentos laboratoriais os quais são eminentemente quantitativos.

Ainda segundo Gil (2010), esta pesquisa pode ser caracterizada como aplicada, pois é voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica. No caso esta situação específica é a aplicação de um produto para iluminação com a tecnologia LED, desenhado de forma a possibilitar sua integração em um PSS.

### **3.2 Seleção do Método de Pesquisa**

Conforme explica a seção anterior, o presente estudo tem característica central “exploratória” dentro de uma situação no mundo real, o que implicaria em utilizar a pesquisa ação ou estudo de caso, pois ambos os métodos focalizam acontecimentos contemporâneos. Nesse caso a pesquisa encontra-se no limiar entre estudo de caso e pesquisa ação.

Devido ao fato de que em algumas etapas o pesquisador ser mais observador do que efetivamente realizador da tarefa, enquadrou-se a pesquisa como estudo de caso com observação participante, onde segundo Yin (2010), o pesquisador não realiza apenas uma observação passiva, podendo intervir nos eventos que estão sendo investigados, podendo perceber a realidade de um ponto de vista diferenciado, além de direcionar o processo e compartilhar das ações, reflexões e análises.

Ainda segundo Yin (2010), o método estudo de caso é preferível quando as questões “como” ou “por que” são propostas, caracterizando-se pelo estudo profundo de um fenômeno contemporâneo, de modo que permita seu amplo conhecimento. O estudo de caso pode ser definido como um conjunto de informações que descrevem uma etapa ou totalidade do processo de uma unidade que pode ser uma pessoa, família ou empresa (ROBSON, 2002).

Gil (2010) aponta ainda que o método de Estudo de Caso consiste no estudo aprofundado de poucos objetos, de modo a permitir um conhecimento detalhado, descrevendo a situação do contexto em que a investigação está sendo realizada. O autor ainda comenta que este método propicia uma visão inicial do problema, procurando determinar fatores que influenciam e fatores que são influenciados.

### **3.3 Visão Geral da Estratégia de Desenvolvimento de Pesquisa**

A estratégia de desenvolvimento desta pesquisa envolveu duas etapas: a primeira delas se caracterizou pela revisão bibliográfica e a segunda pelo estudo de caso.

A revisão da bibliográfica aborda conteúdos que englobam os principais conceitos e metodologia tratados nesta pesquisa, abrangendo os temas de: iluminação, tecnologia LED, ergonomia para o ambiente e design sustentável. Esta revisão incluiu livros, artigos e periódicos, tais como os anais do Programa de Tecnologia de Habitação, eventos do P&D Design, Ambiente Construído, *Design Studies*, *Journal of Modern Optics*, *Light and Engineering*, assim como as normas técnicas para iluminação em residências.

A segunda etapa composta pelo Estudo de Caso, a sequência das etapas foram organizadas segundo o Método para o Design de Sistemas Sustentáveis -MSDS (VEZZOLI, 2010) dentro da estrutura de Pré-Desenvolvimento>Desenvolvimento>Pós-Desenvolvimento de Rozenfeld (2008). O MSDS, visa dar suporte e orientar todo o processo de desenvolvimento de inovações

de sistema para sustentabilidade, caracterizando-se por ter uma estrutura modular e flexível, podendo ser adaptável as necessidades da pesquisa.

Desse modo o estudo foi organizado em três macro-etapas principais para sua efetivação sendo divididas em: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A figura a seguir ilustra esse processo:

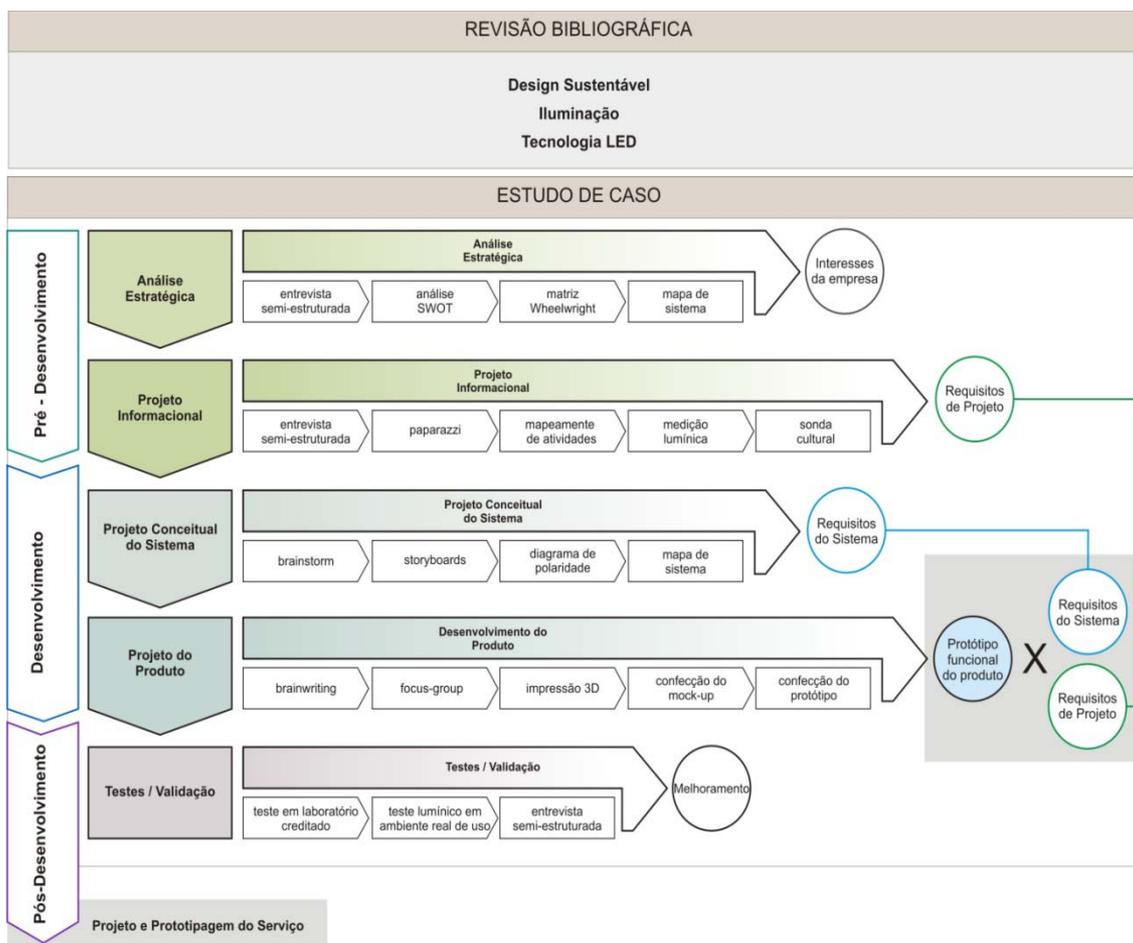


Figura 3. 1: Etapas da pesquisa.

Na fase de Pré-desenvolvimento são realizadas as sub-etapas de Análise Estratégica e de Projeto Informacional que consistem em compreender o contexto do universo da pesquisa, obtendo informações que possibilitassem o desenvolvimento de uma nova proposta de intervenção para aquela realidade.

Na etapa de Análise Estratégica, com uma empresa determinada, são realizadas: entrevista semi-estruturada, análise swot e mapeamento do sistema.

Para a etapa de Projeto Informacional, é utilizada uma série de ferramentas para o entendimento do contexto, sendo que algumas delas tiveram inspiração etnográfica. De

acordo com Mattos (2001), a utilização de técnicas e procedimentos etnográficos não segue padrões rígidos ou pré-determinados, mas são constituídos a partir do trabalho de campo no contexto social da pesquisa, onde muitas vezes devem ser formulados ou criados para atenderem à realidade do trabalho de campo.

Ainda nessa etapa é selecionada uma família, determinada segundo um critério pré-estabelecido, para realização e aplicação das seguintes técnicas: entrevista semi-estruturada, narrativa e paparazzi, mapeamento de contexto, medição lumínica da residência e (b5) sonda cultural. A aplicação dessas ferramentas definem os requisitos de projeto para etapa seguinte.

A fase de Desenvolvimento consiste de duas etapas: Projeto Conceitual do Sistema e do Projeto do Produto. Esta é uma etapa propositiva, sendo realizada de forma colaborativa juntamente com outros participantes externos.

Na etapa do Projeto Conceitual do Sistema, é realizado um *brainstorming* para conceituação de sistemas eco-eficientes a partir das informações obtidas nas etapas anteriores. Os conceitos são avaliados a partir do quadrante de polaridade e do *system map*. É então selecionada a idéia mais promissora de cada quadrante para desenvolvimento de um *panoramic storyboard*. Para seleção desses sistemas eco-eficientes é utilizada a matriz de polaridade. Então é desenvolvido o *system-map* que servirá de referência para o desenvolvimento de produtos orientados a este sistema.

A etapa de Desenvolvimento de Produto contempla as atividades de *brainwriting 635*, *focus-group* com especialistas para discussão da viabilidade dos conceitos gerados, desenvolvimento virtual do produto, produção do modelo funcional para teste e prototipagem.

A fase final, o Pós-Desenvolvimento, consiste nos testes relacionados ao produto em ensaios laboratoriais e em situação real de uso dentro do contexto pesquisado e no atendimento aos requisitos de sistema.

A seguir são detalhados os procedimentos e objetivos de cada etapa descritos acima.

### 3.4 Protocolo da coleta de dados

#### 3.4.1 Pré-Desenvolvimento

##### 3.4.1.1 Etapa 01 - Análise estratégica da Empresa

A análise estratégica tem como objetivo obter informações necessárias para instrumentalizar a geração de idéias sustentáveis. A coleta de informações ocorre de forma colaborativa juntamente com uma empresa interessada ou empresa alvo. Essas informações são relativas ao portfólio de produtos e serviços, contexto de atuação e atores envolvidos.

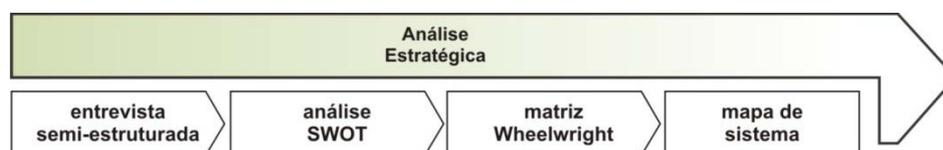


Figura 3. 2: Etapas da Análise Estratégica.

##### 3.4.1.2 Critério de Seleção da Empresa-Alvo.

A empresa participante da pesquisa deve estar funcionando regularmente, operando com o desenvolvimento de produtos e ou serviços ligados a tecnologia LED e deve estar sediada no Brasil.

##### 3.4.1.3 Procedimento da Coleta de Dados

###### a) Entrevista Semi-estruturada

A entrevista semi-estruturada é aplicada pelo pesquisador para obter repostas a perguntas lançadas pessoalmente ao participante com o objetivo de verificar quais são as forças/fraquezas e ameaças/oportunidades da empresa assim como as prioridades para soluções sustentáveis dentro de um contexto sócio-econômico. A entrevista deve ser realizada com o proprietário da empresa ou com algum diretor responsável pelo desenvolvimento de produtos.

### 3.4.1.4 Estratégia de Análise

Os dados obtidos na entrevista são analisados através da Análise SWOT e da Matriz WellRight. Para analisar a estrutura de suporte do sistema, é realizado um mapa de sistemas da empresa com os atores envolvidos.

### 3.4.2 Etapa 02 - Projeto informacional

O objetivo desta etapa é coletar informações sobre o usuário, o contexto da pesquisa e as oportunidades para atendimento dos critérios da sustentabilidade. Os dados coletados auxiliarão na definição dos requisitos de projeto.



Figura 3. 3: Etapas do Projeto Informacional

#### 3.4.2.1 Critério de Seleção do Público-Alvo.

Como critério de seleção, foi estabelecido que a família participante deve ser de baixa-renda de acordo com a definição do IBGE (2000) e ser residente na cidade de Curitiba ou região metropolitana.

#### 3.4.2.2 Procedimento da Coleta de Dados

##### a) Entrevista Semi-estruturada

A entrevista semi-estruturada (apêndice 02) realizada nesta etapa tem o objetivo de caracterizar o participante, familiarizá-lo com a dinâmica da pesquisa e também para levantar os principais aspectos relacionados ao uso da iluminação.

Nesta etapa é necessário que participante assine um termo de consentimento (apêndice 01).

#### b) Paparazzi

A técnica paparazzi consiste no fornecimento de uma câmera fotográfica à pessoa para a captação de imagens que estejam relacionadas a aspectos positivos e negativos da iluminação na residência. Para isso o participante deve colar um adesivo na área a ser fotografada demonstrando ser positiva ou negativa.

#### c) Medição Lumínica da Residência

A medição lumínica na residência é realizada com um aparelho luxímetro nos pontos centrais de cada cômodo e nas áreas onde há atividade freqüente. As medições devem atender a NBR 5382, que fixa o modo pelo qual se faz a verificação de iluminância de interiores de áreas retangulares. Para tal, a norma indica que deve ser utilizado um instrumento com fotocélula com correção de cosseno e cor, com temperatura ambiental entre 15°C e 50°C.

#### d) Sonda Cultural

Sonda cultural é uma forma de aproximação do design centrado no usuário para entender um fenômeno humano e explorar oportunidades de design (MATTELMÄKI, 2008). A sonda cultural visa realizar uma auto-documentação dentro de seu próprio contexto, com suas próprias percepções.

Nesse sentido a ferramenta foi desenvolvida para obter informações sobre a deficiência da iluminação em determinados pontos da residência. A ferramenta consiste em entregar ao usuário pequenas luminárias adesivas LED ativadas por bateria e após 20 dias visitar a residência para verificar onde elas estarão sendo utilizadas pelo usuário.

O objetivo é detectar os pontos de deficiência luminosa partindo do pressuposto que o usuário as colocará onde há falta de iluminação ou onde ele sente a necessidade de iluminação extra para execução de alguma atividade. Para tanto, é importante não indicar ao usuário onde ele deve fixar as luminárias, sendo importante apenas mostrar como é o funcionamento do objeto.



Figura 3. 4: Kit com luminárias LED de toque

#### e) Mapeamento do Fluxo de Atividades

Por meio da utilização desta técnica investiga-se o modo de uso dos espaços e objetos existentes na casa dos participantes, identificando quais são as atividades desenvolvidas pelos habitantes da casa e as necessidades de iluminação durante os diferentes horários do dia.

Esta ferramenta consiste na realização de um mapeamento das atividades cotidianas da família, buscando investigar as necessidades de iluminação durante os diferentes horários do dia de acordo com as atividades.

Para a realização desta atividade é impressa a planta da casa da família em formato A2 e figuras iconográficas representando os membros da família, as atividades desenvolvidas na residência e os objetos utilizados em cada atividade, conforme representado na figura a seguir.



Figura 3. 5: Ícones utilizados no desenvolvimento da ferramenta *fluxo de atividades*.

É proposto para o participante que indique a figura que representa a atividade no respectivo cômodo em que esta costuma ser realizada. Após essa etapa a participante deve colar a figura do membro da família que realiza a atividade e um ícone positivo ou negativo para identificar se a atividade lhe agrada ou desagrada.

### 3.4.2.3 Estratégia de Análise

#### a) Entrevista Semi-estruturada e Papparazzi

Os resultados da entrevista semi-estruturada e papparazzi são analisados usando a hierarquia de necessidades de Maslow<sup>7</sup> (Sampaio, 2009).

#### b) Sonda Cultural

A análise desta sonda cultural consiste em observar, anotar e/ou realizar um registro fotográfico dos locais onde foram instaladas após decorridos os 20 dias. Esta atividade visa comprovar locais de iluminação deficientes verificados em outras ferramentas.

#### c) Medição Lumínica da Residência

A análise desta medição é feita por tabulação comparando os resultados obtidos com os índices estabelecidos pela ABNT NBR 5413, verificando se a residência possui um nível de iluminação adequado em cada ambiente.

#### d) Mapeamento do Fluxo de Atividades

Para a elaboração da análise de dados desta ferramenta, primeiramente obtem-se os dados a respeito do modo de vida cotidiano dos participantes, suas atividades diárias, período do dia e local da casa em que as realizam e a forma como são realizadas. Estas atividades são inseridas em uma tabela (tabulação), onde é identificado o tipo de iluminação adequada para cada atividade.

---

<sup>7</sup> Maslow define um conjunto de cinco necessidades descritos de forma piramidal, onde as necessidades de nível mais baixo devem ser satisfeitas antes das necessidades de nível mais alto:

- *Necessidades fisiológicas* (básicas), tais como a fome, a sede, o sono, o sexo, a excreção, o abrigo;

- *Necessidades de segurança*, que vão da simples necessidade de sentir-se seguro dentro de uma casa a formas mais elaboradas de segurança como um emprego estável, um plano de saúde ou um seguro de vida;

- *Necessidades sociais ou de amor, afeto, afeição e sentimentos* tais como os de pertencer a um grupo ou fazer parte de um clube;

- *Necessidades de estima*, que passam por duas vertentes, o reconhecimento das nossas capacidades pessoais e o reconhecimento dos outros face à nossa capacidade de adequação às funções que desempenhamos;

- *Necessidades de auto-realização*, em que o indivíduo procura tornar-se aquilo que ele pode ser.

## 3.5 Desenvolvimento

### 3.5.1 Etapa 1 - Projeto Conceitual do Sistema

A fase de Projeto Conceitual determina um ou mais modelos de sistema que irão atender as necessidades do usuário a partir do contexto de referência. Nessa fase, concentram-se os processos de criação, representação e seleção de soluções para o atendimento da unidade de satisfação do projeto.

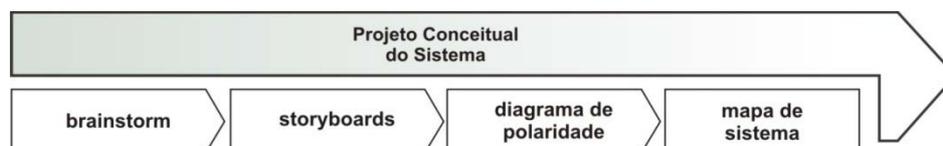


Figura 3. 6: Etapas do Projeto Conceitual do Sistema

É importante destacar que o processo criativo desta fase é baseado nas informações coletadas nas fases anteriores, assim, a qualidade dos resultados atingidos nessa fase depende diretamente dos dados aos quais se baseiam, ou seja, quaisquer alterações nas etapas de análise estratégica ou conceitual podem alterar o resultado do projeto.

O processo criativo pode integrar métodos participativos que podem ser conduzidos por meio de sessões de co-criação. Os conceitos gerados nessa fase devem apresentar um detalhamento mínimo que permita sua avaliação e ou ainda combinação com outros conceitos.

#### 3.5.1.1 Critério de Seleção dos Participantes

Os participantes desta etapa devem ser designers, engenheiros ou profissionais que tenham alguma atividade relacionada a iluminação residencial.

#### 3.5.1.2 Procedimento para Conceituação do Sistema

Para esta etapa é realizado um *brainstorming* de ideias tendo como referência o contexto do público-alvo (baixa-renda) e a análise estratégica da empresa-alvo, visando atender o interesse

de ambos. É definida a unidade de satisfação a ser atendida. A geração destes conceitos são direcionados as tipologias de sistemas eco-eficientes descritas por Vezzoli (2008).

A análise desta etapa é feita apresentando os conceitos sob a forma de *storyboards* a fim de identificar possíveis serviços associados ao sistema e produto, assim como é realizado um mapa de sistema a fim identificar possíveis *stakeholders* e possibilidades de interação dos envolvidos na oferta, é realizado um mapa de sistema com os fluxos de atividades. O resultado desta etapa é a definição dos requisitos do sistema que o projeto do produto deverá atender.

A seleção do sistema suporte para o desenvolvimento do produto será realizada através do posicionamento dos conceitos numa matriz de polaridades, onde os conceitos deverão estar alinhados com os interesses da empresa-alvo.

### 3.5.2 Etapa 2 - Desenvolvimento do Produto

A etapa de Desenvolvimento do Produto consiste em desenvolver um produto de iluminação artificial destinado a residência que atenda aos requisitos do usuário e aos requisitos do sistema selecionado e que posteriormente possa ser prototipado para teste em ambiente real de uso.



Figura 3. 7: Etapas do Projeto de Produto

#### 3.5.2.1 Critério de Seleção dos Participantes

Os participantes desta etapa devem ser designers, engenheiros ou profissionais de produção industrial.

### 3.5.2.2 Critério de Seleção dos Materiais

Foram definidos os seguintes critérios para seleção dos conjuntos de LEDs de potência que comporiam o sistema de iluminação, sendo eles:

1. Eficiência luminosa superior a 45 lumens/watt.
2. Índice de reprodução de cor igual ou superior a 70.
3. Possuir temperatura de cor na faixa de 3000K a 6500K.

Com relação aos materiais para o desenvolvimento do produto os critérios foram:

1. - material de alta durabilidade compatível com a vida útil do LED
2. - viabilidade para confecção em larga e pequena escala
3. - produção/ manufatura na cidade de Curitiba ou região metropolitana

### 3.5.2.3 Procedimentos para Desenvolvimento do Produto

- a) Brainwriting 635

A técnica de criatividade para o workshop de conceituação do produto é o *brainwriting* 6-3-5, que consiste em seis participantes desenvolverem três idéias em cinco minutos, a cada 5 minutos a ficha passa ao participante seguinte em sentido horário. Durante a aplicação do *brainwriting* os participantes podem aplicar outras técnicas para o desenvolvimento das alternativas como o MESCRAI<sup>8</sup>.

Esta atividade tem a função de finalizar o desenvolvimento de um ou mais conceitos escolhidos, especificando este conceito de forma que seja possível realizar sua implementação no contexto real de uso. Nessa fase, o sistema proposto assim como os requisitos de projeto formam a base de referência para o desenvolvimento dos conceitos de produto.

---

<sup>8</sup> Modifique, o produto ou partes dele quanto à escala, formas ou atributos; Elimine componentes, simplifique, reduza ao essencial da função; Substitua componentes, materiais, pessoas; Combine misture com outras montagens ou serviços, integre; Re-arrange os componentes do sistema; Adapte novas funções ou usos, use partes de outros componentes ou produtos e Inverta de fora para dentro, ou de cima para baixo.

#### b) Modelagem Virtual

A modelagem virtual em software 3D permite o detalhamento do conceito de forma a compreender o funcionamento do produto e dar suporte para impressão 3D (prototipagem rápida) e para a construção do mock-up.

#### c) Prototipagem Rápida e Construção artesanal do Mock-up

A prototipagem rápida, realizada em impressora 3D, permite visualizar e analisar fisicamente o conceito do produto, antecipando erros e prevendo futuras alterações antes mesmo da construção do protótipo definitivo.

Já a construção do mock-up visa identificar o funcionamento do produto. Sua confecção é realizada com materiais alternativos mas que permitem testar o produto em campo.

A análise do mock-up é realizada com um focus-group com engenheiros elétricos e designers a fim de identificar problemas e sugerir soluções que melhorem o desempenho do produto.

#### d) Prototipagem do Produto

A fase de prototipagem refere-se à viabilização da construção do produto final para testes em laboratórios e posteriormente sua implementação no contexto real de uso. Nesta etapa, o produto é confeccionado com o material definitivo para produção em escala.

A avaliação verificará o desempenho do produto em relação aos seus aspectos técnicos de estrutura funcional, desempenho lumínico e energético, assim como o atendimento aos requisitos do sistema conceituado.

### 3.5.2.4 Estratégia de Análise do Produto ao Sistema de Referência

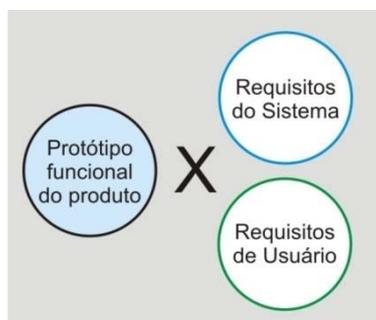


Figura 3. 8: Análise do estudo de caso

A análise do produto será realizada confrontando de forma qualitativa os resultados obtidos no desenvolvimento do produto os requisitos do usuário, levantados durante a etapa do projeto informacional, assim como os requisitos do sistema de referência para o desenvolvimento do produto.

### 3.6 Fase 3 – Pós-Desenvolvimento

A fase de pós-desenvolvimento é a verificação do resultado final do produto a partir do ponto de vista do usuário e sua performance nos testes de laboratório. Nesta etapa é importante realizar o acompanhamento periódico do desempenho do produto desenvolvido para verificar possíveis melhorias que podem afetar o desempenho do sistema.

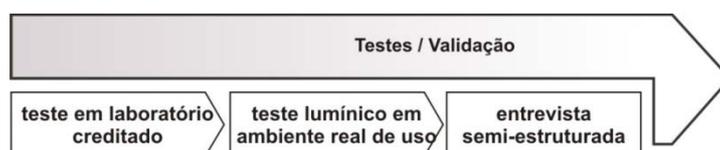


Figura 3. 9: Etapa de testes e validação

#### 3.6.1 Procedimentos para Implementação

##### a) Teste em Laboratório Creditado

Os testes de eficiência lumínica e energética devem ser realizados em laboratório creditado com aparelhos calibrados. Esses testes visam verificar a possível implementação do produto no ambiente real de uso.

##### b) Medição Lumínica da Residência

Esta medição lumínica na residência, assim como a análise, seguem os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

##### c) Entrevista Semi-estruturada com Usuário

A entrevista semi-estruturada realizada nesta etapa tem o objetivo de identificar a experiência do usuário e verificar o atendimento do produto aos requisitos anteriormente levantados.

### 3.6.1.1 Estratégia de Análise da Validação

a) *Teste em Laboratório Creditado:*

A análise dos resultados obtidos é feita através da comparação dados fornecidos pelo fabricante do LEDs.

b) *Medição Lumínica da Residência*

A análise segue os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

c) *Entrevista Semi-estruturada com Usuário:*

As informações levantadas na entrevista serão verificadas com os requisitos do usuário.

## **4 RESULTADOS & ANÁLISE**

A seleção da empresa participante desta pesquisa ocorreu juntamente com o Projeto LEDHIS. Com relação a seleção da família a ser estuda, foi estabelecida a região metropolitana onde foi necessário, primeiramente, entrar em contato com um líder comunitário que indicou e entrou em contato com a família participante deste estudo.

### **4.1 Fase 1 – PRÉ DESENVOLVIMENTO**

#### **4.1.1 Análise Estratégica da Empresa**

Para dar início ao estudo o primeiro procedimento foi a realização da análise estratégica da empresa alvo da pesquisa. A escolha da empresa seguiu o critério de que esta deveria trabalhar com produtos de iluminação LED e de possuir sua sede localizada no município de Curitiba. O nome real da empresa será preservado em sigilo e será usado o nome fantasia de Empresa Y.

A Empresa Y atende a projetos de iluminação utilizando a tecnologia LED. Na época do estudo empresa atendia a cidade de Curitiba e também as cidades de Ponta Grossa e Joinville. Os seus principais clientes eram:

- Lojas de iluminação: que demandam soluções em LED para instalação residencial. Nesse caso há um projetista ou decorador que especifica o projeto lumínico e a empresa especifica os componentes para atender o caso. O projetista tem grande influência na decisão do sistema de iluminação pelo cliente pois ele detêm o conhecimento. O produto entregue pela Empresa Y é a adaptação de uma luminária, geralmente projetada para outro tipo de lâmpada, aos componentes LED. A maior parte desses clientes pertence as classes A e B e procura a solução LED pela novidade tecnológica e pela durabilidade do produto.

- Indústrias: que demandam soluções em LED para instalação comercial. Nesse caso a empresa procura oferecer um produto específico para cada situação. Geralmente este cliente procura a solução LED motivado pela possível diminuição da manutenção do sistema de iluminação associado a perspectiva de economia de energia. A decisão sobre a escolha do sistema é feita pelo proprietário.

A partir da entrevista semi-estruturada com um dos sócios da empresa (Anexo 01) foi possível identificar as forças/fraquezas/ameaças/oportunidades da empresa constantes no Quadro 4.1.

Quadro 4. 1: análise SWOT da empresa alvo

<b>FORÇAS</b>	<b>FRAQUEZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- domínio do conhecimento na linha de iluminação</li> <li>- capacidade de customização de produtos sob encomenda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- baixo capital de investimento</li> <li>- limitação do espaço físico da empresa</li> </ul>
<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMEAÇAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- vendas para o setor industrial</li> <li>- financiamento para projetos de base tecnológica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atenção das grandes empresas para investimento na mesma área</li> <li>- mudanças tecnológicas muito rápidas</li> </ul>

A empresa ainda apresenta um ritmo lento de vendas e possui uma margem de lucro pequena. No entanto, a empresa desejava ter capacitação para oferecer um produto para as classes C e D.

Foi possível perceber que a empresa já tem um bom conhecimento sobre a tecnologia e pode usar isso como vantagem para explorar o mercado de iluminação, oferecendo uma tecnologia nova e posicionando-se como uma empresa inovadora. Porém, por ser uma pequena empresa em fase de crescimento, ela carecia de capacidade de investimento e de um local maior para expandir a tempo de se posicionar definitivamente no mercado, ampliando sua fatia de participação.

Para entender como a empresa enxerga seu produto/serviço em relação à concorrência e aos clientes, foi feita uma avaliação levando em consideração aos atributos de: qualidade, imagem, inovação, informação, garantia, conveniência e serviços. Esses atributos foram dipostos na matriz de importância desempenho de Slack (2002) como mostra a Figura 4.1.

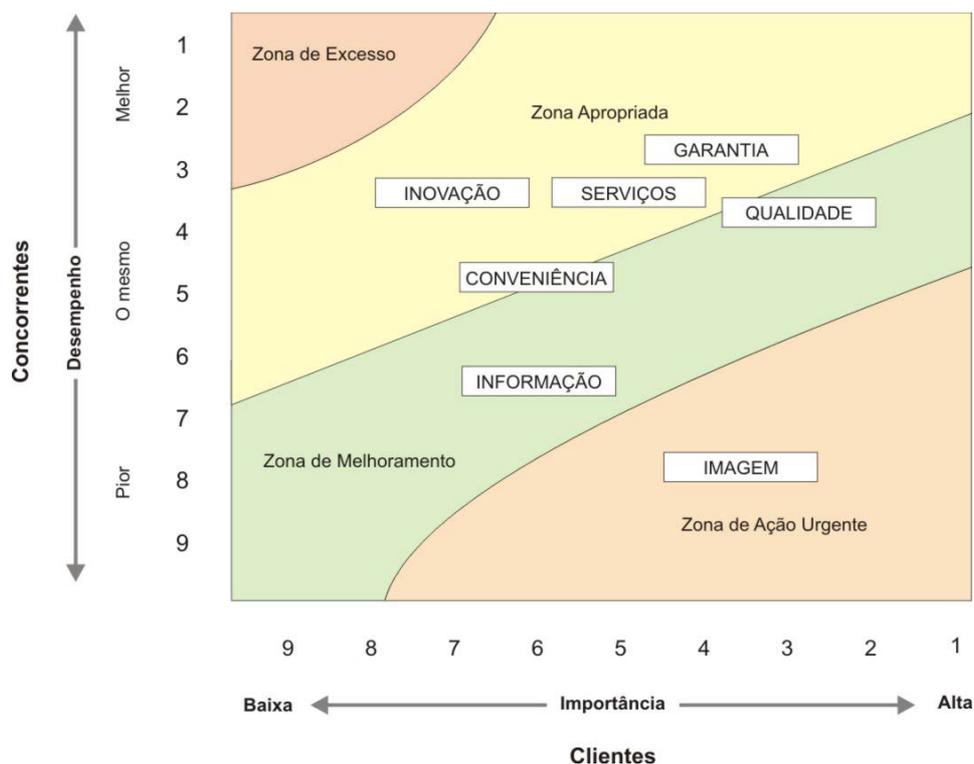


Figura 4. 1: Valor atribuído ao produto

Fonte: Adaptado de Slack (2002)

Identifica-se que o diferencial da empresa é a inovação atribuída ao produto que ela oferece ao cliente assim como a associação dos serviços de orçamentação, customização do produto e apoio no processo de implementação e atendimento pós-venda. No entanto, o aspecto estético dos produtos careciam de investimento para se posicionar melhor frente à concorrência.

A empresa Y promovia seus produtos e serviços através de um website, assim como através de palestras e demonstrações dos produtos aos clientes interessados. A empresa trabalhava também como fornecedora de soluções LED para demandas oriundas das lojas de iluminação. Quando a solicitação era feita para a loja de iluminação e provinha de cliente industrial, os vendedores indicavam que o projeto fosse realizado diretamente com a empresa Y.

Em relação a comunicação com os lojistas, esta é efetuada por meio de catálogo fornecido pelos representantes da empresa. Uma das dificuldades que a empresa enfrentava se referia à lacuna de conhecimento técnico dos vendedores das lojas, pois mesmo com treinamento, estes não sabem responder às questões técnicas sobre a tecnologia LED quando solicitados.

A empresa desenvolvia uma média de 20 projetos diferenciados de produtos por mês, sendo que, a partir destes produtos eram produzidas de 250 a 300 unidades para instalação em empresas e residências.

O fluxo do processo de negócio da empresa é ilustrado de acordo com figura a seguir.

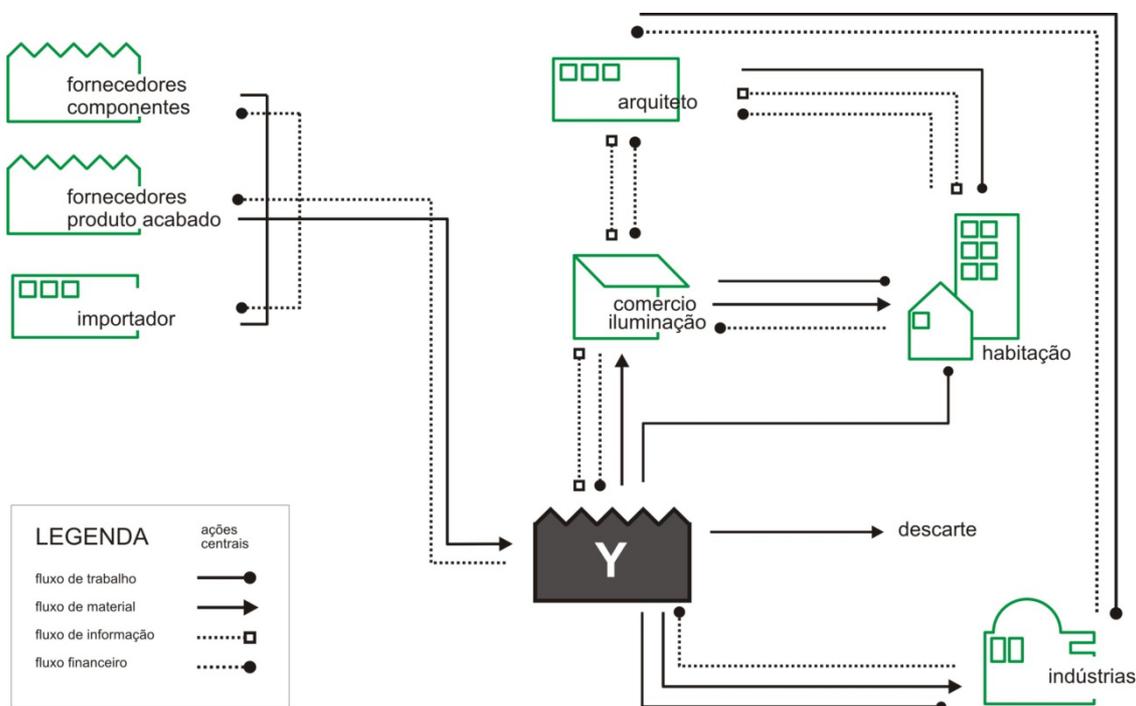


Figura 4. 2: Fluxo de material, informação, financeiro e de trabalho da empresa Y

A empresa possuía uma série de fornecedores, sendo que alguns atuavam na mesma cidade e outros estavam presentes fora do Estado de atuação. Os LEDs eram adquiridos através de um importador que era o representante nacional da marca. Os outros acessórios para a confecção dos produtos, advinham das lojas de acessórios e de fábricas especializadas. A empresa realizava a montagem dos componentes em sua sede e posteriormente vendia o produto acabado para seus clientes.

No que tange a inovação dos produtos desta empresa, ela estava focada tão somente na aplicação da tecnologia LED no desenvolvimento de produtos de baixa complexidade.

A empresa não possui certificação ambiental, entretanto buscava minimizar os resíduos durante o processo de produção, bem como separá-los e descartá-los de modo adequado. Um dos problemas identificados durante o processo produtivo era o descarte da parte interna dos projetores que serve de base para as lâmpadas antigas, os quais são descartados quando os projetores são utilizados para incorporar a lâmpada LED. O principal material utilizado pela

empresa para o desenvolvimento dos produtos é o alumínio, sendo que segundo o sócio da empresa, a maior parte deste material advém da reciclagem.

Existia a preocupação de desenvolver produtos facilmente desmontáveis para que pudessem ser consertados com facilidade. Também havia a preocupação nas escolhas dos componentes, que devem apresentar longa durabilidade.

A empresa apresenta interesse em ampliar seu escopo de atuação no âmbito ambiental e social, sendo que um dos motivos para integração mais acentuada destes atributos nos objetivos do negócio, conforme o entrevistado, era a ampliação da conscientização dos clientes a respeito dos benefícios ambientais e da redução do gasto energético propiciado pela tecnologia LED.

Desse modo, os interesses da empresa para a proposição de um novo sistema é:

- Explorar o potencial de mercado atuando com produtos para classe de renda mais baixa
- Envolvimento com stakeholders alternativos
- Maior comunicação com os clientes a respeito da tecnologia LED

Após a análise estratégica da empresa Y, seguiu-se a etapa do Projeto Informacional conforme apresentado na seção seguinte.

#### **4.1.2 Etapa 2 – Projeto Informacional**

Para a realização deste estudo foi selecionada uma família de baixa-renda da região metropolitana de Curitiba que atendia os critérios constantes no Capítulo 3. Foi realizada uma entrevista (autorizada através de termo de consentimento, Apêndice 01) com a Sra Juliana, representante da família selecionada, que proveram dados que permitiram traçar o perfil dos moradores e da residência. Essa etapa possibilitou o aprofundamento do entendimento quanto a expectativas do público alvo bem como sua efetiva condição de vida.

Durante toda a pesquisa a participante entendeu as perguntas e respondeu de forma clara. Demonstrou dúvidas em relação a instalação da iluminação, pois é o marido que efetua a

compra e a instalação de lâmpadas. Mostrou-se bastante solícita e interessada em responder e ajudar na pesquisa. Observou-se certo incômodo em mostrar a casa, pois se sente envergonhada com as condições em que a sua família está instalada.



- Idade: 27.
  - Quanto tempo reside no local: 1 ano.
  - Escolaridade: a Sra. Juliana cursou até 6º ano do Ensino Fundamental
  - Fonte de renda: atualmente trabalha como zeladora na Concessionária Ecovia Caminho do Mar S/A.
- Na moradia habitavam, além da entrevistada, o marido, seus três filhos e sua mãe. A filha mais velha se chama Daniela, tem 8 anos e cursa o 2º ano do Ensino Fundamental. O segundo filho se chama Danilo, tem 5 anos e estuda no Jardim de Infância. O seu filho caçula se chama Douglas, tem 1 ano e 8 meses de idade e durante o dia fica em casa com a mãe da Sra. Juliana que se chama Leolina, tem 64 anos e é pensionista. D. Leolina faz pães caseiros para contribuir com a renda familiar, que fica em torno de 3 salários mínimos. Seu marido Danilo José da Silva tem 39 anos, cursou o Ensino Médio e trabalha como pedreiro sem registro em carteira.

O imóvel se localiza no bairro de Santa Helena, no município de Piraquara (PR), região metropolitana de Curitiba, conforme pode-se visualizar na Figura 4.3.



Figura 4. 3: Mapa do bairro Santa Helena com destaque para a residência deste estudo.  
Fonte: Google Maps (2011).

A casa possui três cômodos internos e uma varanda externa (vide Figura 4.4), coberta com telhas do tipo fibro-cimento, sem forro, sendo que a cozinha se localiza na parte central da casa e os quartos nas laterais. A entrada principal é feita pela cozinha que se caracteriza como um cômodo multifuncional, servindo também como um local para refeições e descanso (com sofá, estante, televisão e aparelho de som).



Figura 4. 4: Vista frontal da casa da Sra. Juliana

O terreno é próprio, sendo que a família construiu uma casa de alvenaria (meia-água) nos fundos de modo que, futuramente, seja possível construir uma casa maior na frente, transformando a casa atual em um espaço para abrigar um negócio de produção e vendas de batata chips. A rua em que se encontra localizada a residência da família Souza de Jesus está tomada pelo mato e não é equipada com iluminação pública, deste modo para chegar à residência torna-se necessário passar pelos terrenos dos vizinhos.

A entrevistada manifestou o desejo, compartilhado pela família, de terminar a construção, sendo que o primeiro cômodo a ser reformado seria a cozinha/sala começando pela finalização do forro, devido ser este o imóvel que é o mais utilizado e que é o que tem a entrada da casa. Futuramente ela e seu marido pretendem montar dois negócios próprios: para ela, um ateliê de costura para criação de roupas de festa e para ele, uma mini-fábrica de batatas fritas.

Quanto à questão relativa ao compartilhamento ou empréstimo de objetos, ferramentas e eletrodomésticos a Sra. Juliana enfatizou que sua família prefere evitar essas situações - *“é muito chato, as coisas dos outros só estragam na mão da gente”* – comenta ela. Ou quando alguém pede algo emprestado o seu comentário é o seguinte - *“a gente desvia”*, pois a sua filosofia é que *“cada um deve correr atrás das suas coisas”* (citado em vídeo). Somente quando há extrema necessidade é que tal prática acontece, como por exemplo, o empréstimo de

energia elétrica, que atualmente é disponibilizada para um vizinho que está construindo uma casa ao lado da sua.

Possuía um fogão na cozinha e outro na varanda, pois o fogão da cozinha é de uso normal e o fogão da varanda é utilizado pela D. Leolina (avó) para fazer pães e bolachas para venda na comunidade. Esta atividade possuía grande importância pois representa um incremento para a renda familiar.

A sala/cozinha se caracterizava como um ambiente multifuncional, pois era o ambiente social da família. Neste cômodo são realizadas atividades de lazer e descanso, são realizadas as refeições e os encontros familiares, bem como trabalhos manuais e atividades escolares. Reportou que o filho caçula dormia no quarto com os pais (quarto 01) e os dois filhos maiores dormia no quarto com a avó (quarto 02). É possível visualizar a planta da casa na Figura 4.5.

No quarto 01 (casal) a Sra. Juliana possui um computador, porém sem ligação à internet. Ela era a única pessoa da família com acesso na Internet, pois podia fazer isso em seu trabalho. Ela não possuía email, porém tinha uma conta na rede social Orkut. Comentou que consultava a rede-social diariamente e que quando não podia acessar a internet, procura ir a uma lan-house.

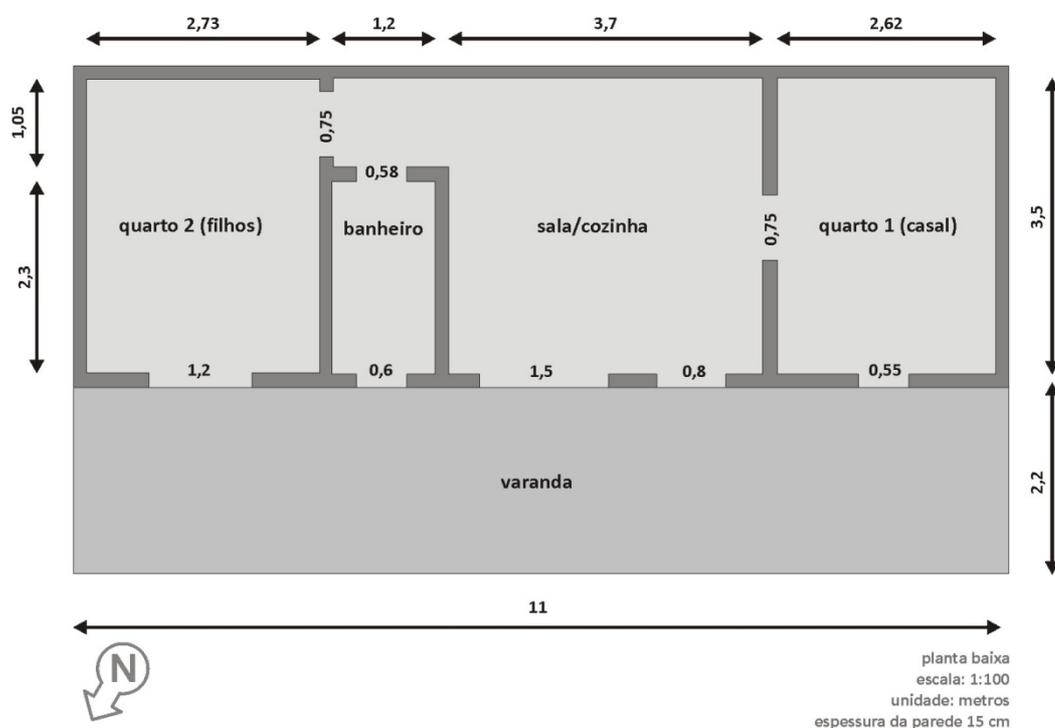


Figura 4. 5: Planta da habitação.

#### 4.1.2.1 Características do Uso da iluminação

A caracterização do uso atual da iluminação bem como as necessidades para efetivo conforto lumínico foi realizada através do roteiro de entrevista semi-estruturada (Apêndice 02). Esta atividade foi realizada durante a segunda visita a residência. A Sra. Juliana enfatizou que apenas o ambiente da sala/cozinha era provido de uma lâmpada fluorescente compacta, a qual foi denominada pela entrevistada como “lâmpada econômica”. Segundo as informações fornecidas pela entrevistada, esta é a lâmpada que fica acesa por mais tempo na casa e que proporciona melhor iluminação em relação às lâmpadas denominadas “normais” (incandescentes), utilizadas nos demais cômodos da casa.

De fato, durante a primeira e segunda visita na habitação observou-se que a sala/cozinha eram iluminadas por uma lâmpada fluorescente de 18W. Contudo, na terceira visita a lâmpada deste cômodo foi trocada por uma incandescente de 150W, possivelmente resultando em um aumento significativo no consumo de energia da residência para iluminação. Desta forma, cem por cento da habitação tinha ao final desta etapa da pesquisa, iluminação artificial realizada através de lâmpadas incandescentes.

No quarto 01 (do casal) era utilizada uma lâmpada incandescente de baixa intensidade de iluminação, isto se deve ao fato deste ser também o quarto utilizado para descansar o seu filho mais novo (Douglas). Juliana esclareceu que o motivo pelo qual há apenas uma lâmpada fluorescente na residência, devia-se a preferência de seu marido em comprar lâmpadas incandescentes de baixo custo, pois ele era o responsável, e quem decidia, pela compra desse tipo de material.

Na residência em questão, as circunstâncias em que uma menor intensidade de luz era necessária se referiam principalmente aos momentos em que a televisão estava sendo utilizada. Importante mencionar que no quarto 01 era utilizado a televisão como forma de iluminar o ambiente, evitando do filho mais novo acordar perturbado com o eventual acender da lâmpada. A entrevistada relatou que seu marido, sempre que possível, preferia assistir filmes ou até mesmo outro tipo de programação com a luz apagada.

As situações reportadas na família em relação a necessidade de uma maior intensidade de luz estão ligadas às tarefas escolares de Daniela e Danilo, à fabricação dos pães de D. Leolina e às eventuais atividades de costura, bordado em pedraria e crochê que a Sra. Juliana realiza em casa. A Sra. Juliana relatou também que, quando fazia sua maquiagem utilizando o espelho do

banheiro a iluminação existente produzia sombras e atrapalha a visibilidade para a realização desta tarefa – *“grudo a minha cara no espelho”*.

Nos dias ensolarados a família não encontrava necessidade em acender as lâmpadas dos cômodos, exceto a do quarto do casal que continha uma janela provida de persiana metálica com abertura para uma área de serviço, o que dificultava a entrada de luz natural. Durante os dias nublados, a família necessitava que as lâmpadas dos cômodos ficassem mantidas acesas, exceto para a varanda por se tratar de um cômodo com abertura total para uma das fachadas da residência.

A entrevistada indicou que ela era a pessoa que mais consumia energia elétrica na casa (principalmente pelo banho, do qual confessava a demorar). A entrevistada relatou também que tinha o hábito de deixar praticamente todas as lâmpadas acesas durante a noite, pois esquecia de desligá-las. Por outro lado, em relação a televisão ela tinha o hábito de desligá-las quando não havia ninguém assistindo. Seu marido e sua mãe costumam apagar todas as lâmpadas que estavam acesas sem necessidade, inclusive desligavam a televisão.

Quando ocorre a queda de energia elétrica na residência, o hábito da família é utilizar velas e celulares como lanterna para suprir a falta de luz.

Em relação ao descarte de lâmpadas, a Sra. Juliana reporto o hábito de colocá-las em caixas vazias de leite com o intuito de evitar possíveis acidentes, relatou também que costuma descartá-las no caminhão do “lixo que não é lixo. De modo geral foi observado que a iluminação da residência é percebida pela Sra. Juliana como um atributo que não está em suas prioridades.

#### **4.1.2.2 Resultados da Técnica Paparazzi**

Nesta etapa, seguindo o protocolo descrito no Capítulo 03 (Método de Pesquisa) foi aplicado a técnica Paparazzi, que consiste no registro de imagens pelo próprio usuário acerca da habitação, seus artefatos e do cotidiano. Foram explicados os procedimentos para esta atividade e o modo de uso da câmera fotográfica. Foi solicitado que a participante registrasse imagens dos cômodos de sua casa, sinalizando o que lhe agrada ou incomoda em relação à residência e à iluminação, bem como as mudanças que gostaria de realizar.

O cartão iconográfico foi utilizado para representar condições de satisfação e insatisfação em cada imagem registrada. Deste modo, a participante deveria adicionar o cartão com o ícone positivo se gostasse da imagem a ser registrada ou adicionar o cartão com o ícone negativo caso houvesse algo na imagem que a incomodasse.

A Figura 4. 6 a seguir apresenta algumas imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam os pontos negativos registrados por ela mesma. Na imagem 1 é possível observar o caminho para chegar até a casa da família, o qual foi sinalizado negativamente por ser escuro e de difícil acesso à noite, visto que não há iluminação pública em frente a residência da família, sendo necessário passar pelo terreno dos vizinhos.

A imagem 2 mostra o fogão situado na cozinha, no qual D. Leolina assa os pães para venda e dependendo do horário do dia, carece de iluminação adequada na opinião da Sra. Juliana. O espelho registrado na imagem 3 se refere à dificuldade que a participante observa para fazer a maquiagem, pois a iluminação no teto do banheiro provoca sombras no rosto, o que dificulta a atividade. A imagem 4 representa o quarto em que dormem os filhos mais velhos e a mãe da Sra. Juliana. Observou-se que a insatisfação da pesquisada se refere ao excesso de roupas espalhadas pelo quarto e à desorganização, visto que a mesma se sente envergonhada quando os pesquisadores solicitam para entrar neste cômodo.



Figura 4. 6: Imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam pontos negativos sob o ponto de vista da iluminação

A Figura 4. 7 apresenta as imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam os pontos positivos. Na imagem 1 foi registrada a mesa da cozinha, que funciona como local para

refeições, conversas e encontros familiares e local para as crianças lerem e fazerem as lições escolares. O relato positivo em relação a pia da cozinha registrada na imagem 2 se refere à boa iluminação natural do local durante o dia. A imagem 3 registra a televisão e a imagem 4, a geladeira. Em ambos os casos, a participante relata a satisfação com os equipamentos e com a iluminação do local. A pia do banheiro registrada positivamente na imagem 6 se deve ao fato de que as tarefas realizadas neste local (como, por exemplo, lavar as mãos e escovar os dentes) são executadas de modo satisfatório e não demandam intervenções na iluminação. Da mesma forma, as imagens 6, 7 e 8 da figura são registros do quarto do casal onde a pesquisada narrou que está satisfeita com a iluminação e com as atividades realizadas neste local, como por exemplo, acessar o computador, ver televisão e dormir.



Figura 4. 7: Imagens capturadas pela Sra. Juliana e que representam pontos positivos

#### **4.1.2.3 Análise da Entrevista Semi-Estruturada e Paparazzi**

A seguir é apresentada a análise dos resultados obtidos com a realização das atividades de entrevista e paparazzi.

A análise da entrevista e técnica paparazzi foi efetuada a partir da hierarquia de necessidades desenvolvida por Maslow para caracterizar as necessidades expressas pela participante. A partir do agrupamento destas necessidades foi possível relacioná-las às necessidades de iluminação e também aos aspectos da residência que agradam ou desagradam a Sra. Juliana, conforme é possível visualizar no Quadro 4.2.

Quadro 4. 2: Iconografia Negativa, relação das necessidades identificadas a partir da realização das técnicas de narrativa e paparazzi.

	Código	Item	Cômodo	Unidade de satisfação	Fisiológica	Segurança	Sociais	Status/ estima	Auto-realização
ICONOGRAFIA NEGATIVA	Fig. 1 – imagem 1	Acesso inadequado à casa	Quintal	Acesso fácil e seguro à residência	Não	Risco de quedas, assaltos, etc.	Não	Percepção de inadequação das instalações (falta de iluminação, acesso à rua, etc.)	Não
	Fig. 1 – imagem 2	Fogão pouco iluminado e antigo	Cozinha/ Sala	Preparação das refeições e pães para venda	Alimentação da família	Risco de acidentes, risco de erro na preparação das refeições	Não	Percepção de inadequação das instalações	Não
	Fig. 1 – imagem 3	Pouca iluminação no espelho do banheiro	Banheiro	Observar a própria imagem, maquiarse, auxílio na higiene pessoal	Higiene pessoal, visualização da escovação dos dentes e do cabelo	Não	Não	Permite a melhora da auto-imagem	Não
	Fig. 1 – imagem 4	Desorganização do quarto dos filhos mais velhos e da mãe	Quarto 02	Boa acomodação dos filhos e da mãe, higiene	Não	Desorganização do quarto pode provocar desconforto e má acomodação	Não	Percepção de inadequação das instalações	Não
	Fig. 1 – imagem 5	Desorganização da varanda	Varanda	Espaço de convivência e de realização de atividades domésticas	Não	Não	Socialização e convivência familiar	Percepção de inadequação das instalações	Não

Quadro 4. 3: Iconografia Positiva. Relação das necessidades identificadas a partir da realização das técnicas narrativa e etnografia fotográfica.

	Código	Item	Cômodo	Unidade de satisfação	Fisiológica	Segurança	Sociais	Status/ estima	Auto-realização
ICONOGRAFIA POSITIVA	Fig. 2 – imagem 1	Mesa de refeições, encontros de família, lição de casa, etc.	Cozinha/ Sala	Local adequado para os encontros familiares e refeições	Alimentação	Não	Socialização e convivência familiar	Satisfação em receber amigos e familiares	Não
	Fig. 2 – imagem 2	Pia da cozinha	Cozinha/ Sala	Local para a preparação dos alimentos e limpeza da louça	Alimentação, higiene	Risco de acidentes, qualidade de limpeza da louça	Não	Adequação do móvel e da iluminação para a realização de atividades	Não
	Fig. 2 – imagem 3	Televisor	Cozinha/ Sala	Entretenimento/passa tempo	Não	Não	Socialização e convivência familiar	Estima por ter conquistado um objeto de desejo	Não
	Fig. 2 – imagem 4	Geladeira	Cozinha/ Sala	Conservar alimentos	Alimentação	A geladeira não possui iluminação interna	Não	O produto é adequado, mas poderia ser melhorado	Não
	Fig. 2 – imagem 5	Pia do banheiro	Banheiro	Propiciar a contenção e o uso da água	Higiene	Não	Não	Não	Não
	Fig. 2 – imagem 6	Organização do quarto do casal	Quarto 01 do casal	Boa acomodação do casal e do filho caçula	Higiene	Não	Não	Adequação dos móveis e da iluminação para a realização de atividades	Não
	Fig. 2 – imagem 7	Computador	Quarto 01 do casal	Diversão e acesso a informação	Não	Não	Socialização em redes sociais (Orkut)	Estima por ter conquistado um objeto de desejo	Busca de conhecimento e satisfação pessoal
	Fig. 2 – imagem 8	Televisor	Quarto 01 do casal	Entretenimento/passa tempo	Não	Não	Socialização e convivência familiar	Estima por ter conquistado um objeto de desejo	Não

A partir do agrupamento destas necessidades foi possível identificar as seguintes necessidades mais prementes em ordem de importância na residência da Sra. Juliana:

- *Auto-realização*: no caso analisado identificou-se que a auto-realização se refere ao fato de adquirir um bem que propicie a inclusão social do indivíduo. A família possui projetos futuros de construir uma nova casa para acomodar melhor seus integrantes e possuir um negócio próprio para que seja possível melhorar a renda. Foi verificada também a necessidade de sentir-se “proprietário” dos produtos que compõem a residência. Sendo que a auto-realização é conquistada também pela posse de bens próprios e, a partir disso há uma melhoria financeira e uma melhoria da classificação social. Verifica-se que o sistema não deve priorizar o compartilhamento do produto de iluminação ou que permita ao usuário a impressão de que o produto já foi utilizado.
- *Status e estima*: percepção quanto à inadequação do espaço, visto que muitos deles são multifuncionais e compartilhados o que os torna inadequados para a realização de uma tarefa que necessita de uma iluminação específica. A casa também é pequena para comportar uma família de seis pessoas. Percepção de inadequação da iluminação e do acesso à residência e também da aparência física da casa e de seus componentes físicos. Verificou-se a necessidade de adquirir equipamentos eletrônicos que promovam a percepção de igualdade com outras classes sociais (por exemplo: televisão 29 polegadas). Observou-se que a desorganização é um fator de constrangimento e provoca desconforto e má acomodação dos membros da família.
- *Segurança*: identificou-se a preocupação com o acesso à residência, pois o local de entrada não possui iluminação à noite, havendo riscos de acidentes e furtos. Um sistema de iluminação para a parte externa na casa também é necessário e também uma iluminação de localização.
- *Afetividade*: identificou-se a preocupação com o bem estar dos familiares e a importância das reuniões da família. Há preocupação com o bem-estar de D. Leolina e com a educação dos filhos. A participante também preza pelo convívio com o marido em momentos de lazer. Nesse sentido o sistema de iluminação deve permitir o controle da luz não só para as atividades laborativas, mas também para ambientação e atividades de lazer destinadas aos momentos de descanso.
- *Fisiológica*: identificaram-se como aspectos principais: o local para a realização das refeições, a dificuldade com a realização de atividades de limpeza e organização da

residência, principalmente devido à área reduzida. Aqui a iluminação, em nível adequada para atividade de limpeza proporciona uma melhor higiene da casa, resultando em melhora da saúde.

#### 4.1.2.4 Resultados do Mapeamento do Fluxo de Atividades

Foi proposto que a Sra. Juliana localizasse cada figura que representava a atividade no respectivo cômodo em que a atividade costuma ser realizada. Após essa etapa a participante deveria colar a figura do membro da família que realiza a atividade e um ícone positivo ou negativo para identificar se a atividade lhe agrada ou desagrada. Além disso, a Sra. Juliana utilizou círculos pretos para representar atividades desenvolvidas durante os dias úteis e círculos dourados para as atividades desenvolvidas nos fins de semana (Figura 4. 8).

A preocupação e os cuidados da Sra. Juliana para com os filhos, durante a aplicação desta ferramenta fez com que o tempo de realização se estendesse para além do previsto. Além desse motivo, a participante estava com um problema de saúde e este fato dificultou a concentração. Deste modo, não foi possível mapear separadamente as atividades desenvolvidas nos períodos da manhã, da tarde e da noite, sendo assim todas as atividades realizadas durante o dia e durante o final de semana foram registradas em uma única planta da residência.



Figura 4. 8: Desenvolvimento da ferramenta fluxo de atividades

Por meio das informações coletadas no mapeamento das atividades realizadas na residência da família é possível classificar os ambientes pelo seu uso correspondente, conforme é possível visualizar no quadro, a seguir:

Quadro 4. 4: Mapeamento de fluxos de atividades realizadas na família analisada

AMBIENTE	PARTICIPANTE	MANHÃ	TARDE	NOITE
Quarto 2 (dos filhos)	D. Leolina	Dormir ● Trocar roupa ●●	Organizar ●	Dormir ●●
	Danilo (filho)	Dormir ● Trocar roupa ●●	--	Dormir ●●
	Daniele	Dormir ● Trocar roupa ●●	--	Dormir ●●
Quarto 1 (casal)	Juliana	Dormir ● Trocar roupa ●●	Acessar o computador ●●	Dormir ●● Ver televisão ●● Usar o computador ●●, Organizar ●
	Danilo (pai)	Dormir ● Trocar roupa ●●	--	Dormir ●● Ver televisão ●● Usar computador ●●
	Douglas	Dormir ● Trocar roupa ●●	--	Dormir ●●, brincar ●●
Cozinha/Sala	D. Leolina	Tomar café ●● Lavar louça ●● Cozinhar ●● Ver televisão ●●	Almoçar ●● Cozinhar ●● Ver televisão ●● Cuidar do Douglas ● Preparar o pão	Jantar ●● Cozinhar ●● Ver televisão ●●
	Danilo (filho)	Tomar café ●● Ver televisão ●● Brincar ●●	Almoçar ●● Brincar ● Ver televisão ●	Jantar ●● Brincar ●● Ver televisão ●● Fazer a lição ● Ler ●
	Daniele	Tomar café ●● Ver televisão ●● Brincar ●●	Almoçar ●● Brincar ● Ver televisão ●	Jantar ●● Brincar ●● Ver televisão ●● Fazer a lição ● Ler ●
	Juliana	Tomar café ●●	Almoçar ● Cozinhar ● Lavar louça ●	Jantar ●● Cozinhar ●● Lavar louça ●● Organizar ●● Ver televisão ●●
	Danilo (pai)	Tomar café ●●	Almoçar ● Ver televisão ●	Jantar ●● Ver televisão ●●
	Douglas	Tomar café ●● Ver televisão ●● Brincar ●●	Almoçar ●● Brincar ●● Ver televisão ●●	Jantar ●● Brincar ●● Ver televisão ●●

Dia de semana ●

Fim de semana ●

<b>Banheiro</b>	<b>D. Leolina</b>	Escovar os dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●
	<b>Danilo (filho)</b>	Escovar os dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●
	<b>Daniele</b>	Escovar os dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer necessidades●●
	<b>Juliana</b>	Escovar dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer necessidades●● Fazer a maquiagem●●
	<b>Danilo (pai)</b>	Escovar os dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●
	<b>Douglas</b>	Escovar os dentes●● Tomar banho●● Fazer necessidades●●	Escovar os dentes●● Fazer necessidades●●	Tomar banho●● Escovar os dentes●● Fazer as necessidades●●
<b>Varanda</b>	<b>D. Leolina</b>	Fazer pães●● Organizar●●	Fazer pães●● Organizar●●	Descansar●●
	<b>Danilo (filho)</b>	Brincar●●	Almoçar●● Brincar●●	Brincar●●
	<b>Daniele</b>	Brincar●●	Almoçar●● Brincar●●	Brincar●●
	<b>Juliana</b>	Organizar Lavar roupa●●	Almoçar●● Descansar●● Ouvir música●● Lavar roupa●●	Descansar●●
	<b>Danilo (pai)</b>	Fazer churrasco●●	Almoçar●● Descansar●● Ouvir música●●	Descansar●●
	<b>Douglas</b>	Brincar●●	Almoçar●● Brincar●●	Brincar●●

Dia de semana ●

Fim de semana ●

Conforme verifica-se no Quadro 4.4 apresentado acima a partir do mapeamento das atividades realizadas na residência da família é possível classificar os ambientes pelo seu uso correspondente, sendo que a cozinha, o quarto do casal e a varanda se caracterizam como ambientes multifuncionais, visto que além das funções-padrão como dormir, cozinhar/comer e descansar, nestes ambientes também são realizadas outras atividades como, por exemplo: bordar, assistir TV, usar o computador, brincar e estudar.

No quadro 4.5 foram analisadas as atividades da família em relação aos ambientes e os hábitos e/ou preferências no que tange à iluminação doméstica e as respectivas necessidades de iluminação. Deste modo, efetuou-se uma seleção das luminárias indicadas para cada ambiente e modo de uso.

Quadro 4. 5: Fluxo de atividades x Tipo de iluminação x Característica da luminária

AMBIENTE	PARTICIPANTE	MANHÃ	TARDE	NOITE
Quarto filhos	D. Leolina Danilo (filho) Daniele	Dormir, Trocar roupa	Organizar	Dormir
		<i>Luz indireta, difusa, quente, uso coletivo</i> <i>Iluminação linear para armários</i>	<i>Iluminação linear para armários</i>	<i>Luz indireta, difusa, quente, uso coletivo</i>
		Luminária linear para armário e prateleiras, ajuda enxergar melhor Luminária geral mais potente que pode iluminar o quarto inteiro	Luminária linear para armário e prateleiras, ajuda enxergar melhor	luminária geral ajustável
Quarto casal	Juliana Danilo (pai) Douglas	Dormir, Trocar roupa	--	Dormir, ver televisão, acessar o computador, brincar
		<i>Luz indireta, difusa, quente, uso coletivo</i> <i>Iluminação linear para armários</i>	<i>Iluminação linear para armários</i> <i>Luz indireta, difusa, quente, uso coletivo</i>	<i>Luz direita, concentrada, fria, uso pessoal por trabalho ao computador</i>
		Luminária geral luz suave Iluminação pontual nos lugares onde é preciso enxergar melhor (armários)	Luminária geral luz suave Iluminação pontual nos lugares onde é preciso enxergar melhor (armários)	Iluminação pontual nos lugares onde é preciso enxergar melhor (mesa)
Cozinha/sala	D. Leolina Danilo (filho) Daniele Juliana Danilo (pai) Douglas	Tomar café, lavar louça, cozinhar, ver televisão, brincar	Almoçar, cozinhar, ver televisão, cuidar do Douglas, brincar	Jantar, brincar, ver televisão, fazer a lição, ler, cozinhar, lavar louça, organizar
		<i>Luz indireta, difusa, fria, uso coletivo, facilitar o início das atividades do dia</i> <i>Luz indireta, difusa, quente, uso coletivo</i>	<i>Luz indireta e direta, difusa, quente, para atividades coletivas</i>	<i>Luz direita, concentrada, fria, uso pessoal, por atividades de estudo, cozinha, limpeza</i>
		Luminária linear para corredor que fica muito escuro o dia inteiro Luminária central da sala, ajustável em posição e intensidade, multifuncional Luminária de parede linear e pontual para a área da cozinha	Luminária linear para corredor que fica muito escuro o dia inteiro Luminária central da sala, ajustável em posição e intensidade, multifuncional Luminária de parede linear e pontual para a área da cozinha	Luminária linear para corredor que fica muito escuro o dia inteiro Luminária central da sala, ajustável em posição e intensidade, multifuncional Luminária de parede linear e pontual para a área da cozinha

Banheiro	D. Leolina Danilo (filho) Daniele Juliana Danilo (pai) Douglas	Escovar os dentes, tomar banho, fazer as necessidades	Escovar os dentes, Fazer as necessidades	Tomar banho, Escovar os dentes, Fazer as necessidades, fazer a maquiagem
		<i>Luz indireta, difusa, fria, uso coletivo</i> <i>Luz direita, concentrada, fria, uso pessoal (espelho)</i>	<i>Luz indireta, difusa, fria, uso coletivo</i> <i>Luz direita, concentrada, fria, uso pessoal (espelho)</i>	<i>Luz indireta, difusa, fria, uso coletivo</i> <i>Luz direita, concentrada, fria, uso pessoal (espelho)</i>
		Iluminação geral e pontual (espelho) com temperatura de cor fria	Iluminação geral e pontual (espelho) com temperatura de cor fria	Iluminação geral e pontual (espelho) com temperatura de cor fria
Varanda	D. Leolina Danilo (filho) Daniele Juliana Danilo (pai) Douglas	Fazer pães, organizar, brincar, lavar roupa, fazer churrasco	Fazer pães, organizar, almoçar, descansar, ouvir música, lavar roupa, ouvir música, brincar	Descansar, brincar
		<i>Luz indireta e direta, difusa, fria, uso coletivo</i>	<i>Luz indireta e direta, difusa, fria, uso coletivo</i>	<i>Luz indireta e direta, difusa, quente, uso coletivo</i>
		Iluminação geral para a área da varanda Iluminação pontual nas áreas de cozinha externas	Iluminação geral para a área da varanda Iluminação pontual nas áreas de cozinha externas	Iluminação geral para a área da varanda

Na cozinha, no quarto do casal e na varanda o sistema de iluminação deveria propiciar o desenvolvimento das diferentes atividades, especialmente permitindo a definição de um layout de luz adaptado às atividades intensas durante uns momentos do dia e a atividades de descanso em outros; da mesma forma, o sistema deve permitir o desenvolvimento de atividades diferentes no mesmo momento, com um layout misto. Flexibilidade funcional é, portanto, um requisito básico do sistema.

A sala/cozinha é o ambiente que mais apresentava características multifuncionais, pois a casa não possui um cômodo específico para o descanso da família. Deste modo, os encontros da família, as refeições, as tarefas escolares, o descanso e assistir televisão são realizados na cozinha. Neste cômodo é utilizada uma única lâmpada no centro do ambiente o que torna a iluminação difusa, outro agravante é o fato da casa não possuir forração e o teto ser cinza, devido à presença de telhas de fibrocimento. Neste caso, uma luz única não permite a definição de layouts complexos, sendo que o ponto de luz atual possui apenas uma intensidade de luz, direção e temperatura de cor. Uma opção seria fazer uso de um sistema articulado com possibilidade de direcionamento e regulação da intensidade de luz, e dois tipos de temperaturas de cores (<3000 K, mais quente, para relaxar, >3000K, mais fria, para concentração).

O quarto do casal também apresentava características multifuncionais, pois era utilizado como local de descanso, para usar o computador, para o entretenimento em frente à televisão e também é um local em que as crianças utilizam para brincar. A iluminação natural do quarto era prejudicada, pois em frente à janela deste cômodo foi construída a varanda e, deste modo há uma parede, feita de fibrocimento, em frente à janela do quarto que bloqueia a entrada da luz do dia. O quarto precisava, além de uma melhor iluminação geral, de iluminação local em lugares que atualmente precisam de luz concentrada e mesmo assim ainda são escuros, devido à profundidade do mobiliário, como por exemplo, os armários, as prateleiras e a mesa do computador.

A varanda era um cômodo também utilizado para a realização de diversas tarefas, como por exemplo, lavar e estender roupas, descansar, ouvir música, fazer churrasco nos fins de semana e assar pães e biscoitos. Servia também como local de brincadeiras para as crianças. Atualmente a varanda possui apenas uma lâmpada tubular fluorescente, que ilumina uma área limitada; uma situação ideal deveria incluir vários pontos de luz distribuídos para iluminar bem a área inteira, com luz pontual nas áreas da varanda que são utilizadas para cozinhar.

Foi relatado pela participante que a desorganização do cômodo não lhe agradava, visto que o mesmo comporta três camas, um guarda-roupa e a roupa de toda a família, que após a lavagem não é passada e guardada, ficando amontoada sobre as camas. Por outro lado a iluminação natural deste cômodo é relativamente boa, pois recebe luz solar no período da tarde. Apesar disso, no horário noturno o quarto fica escuro, atrapalhando as operações de arrumação da roupa e das camas e as atividades das crianças. Uma melhor iluminação geral combinada com a iluminação pontual nas áreas usadas pelas crianças poderia prover um conforto maior.

O banheiro, assim como os demais cômodos da casa é compartilhado entre os membros da família. Possui vaso sanitário, pia e chuveiro sendo que a iluminação diurna é deficiente, devido a pouca entrada de luz e, conforme relato da Sra. Juliana a iluminação artificial, advinda de uma única lâmpada no centro do ambiente provoca sombras no espelho, dificultando a visibilidade dos usuários. Neste caso, um layout de iluminação fixo, com dois pontos de luz permitiria uma boa iluminação geral e uma iluminação pontual no espelho, onde é preciso enxergar melhor.

#### 4.1.2.5 Resultados da medição da iluminação da residência

Foram realizadas medições com o luxímetro (modelo Minipa MLM-1011) em todos os ambientes da residência da Sra. Juliana, em locais onde ela exerce as atividades como no fogão, mesa, pia e sofá. As medições ocorreram as 19h00 para não haver interferência da luz natural proveniente das janelas e portas. Assim as medições contemplaram somente a luz artificial proveniente das lâmpadas instaladas na residência.



Figura 4. 9: Medição da luz sobre a mesa do computador realizada com o luxímetro

Na Figura 4. 10 a seguir é possível observar a planta da residência com as medidas do luxímetro. Estas medições foram necessárias para verificar se haveriam alterações significativas em relação à iluminação artificial. As unidades dentro do retângulo representam o resultado da medição naquele ponto, enquanto que o valor abaixo é o nível recomendado pela NBR 5413 da ABNT.

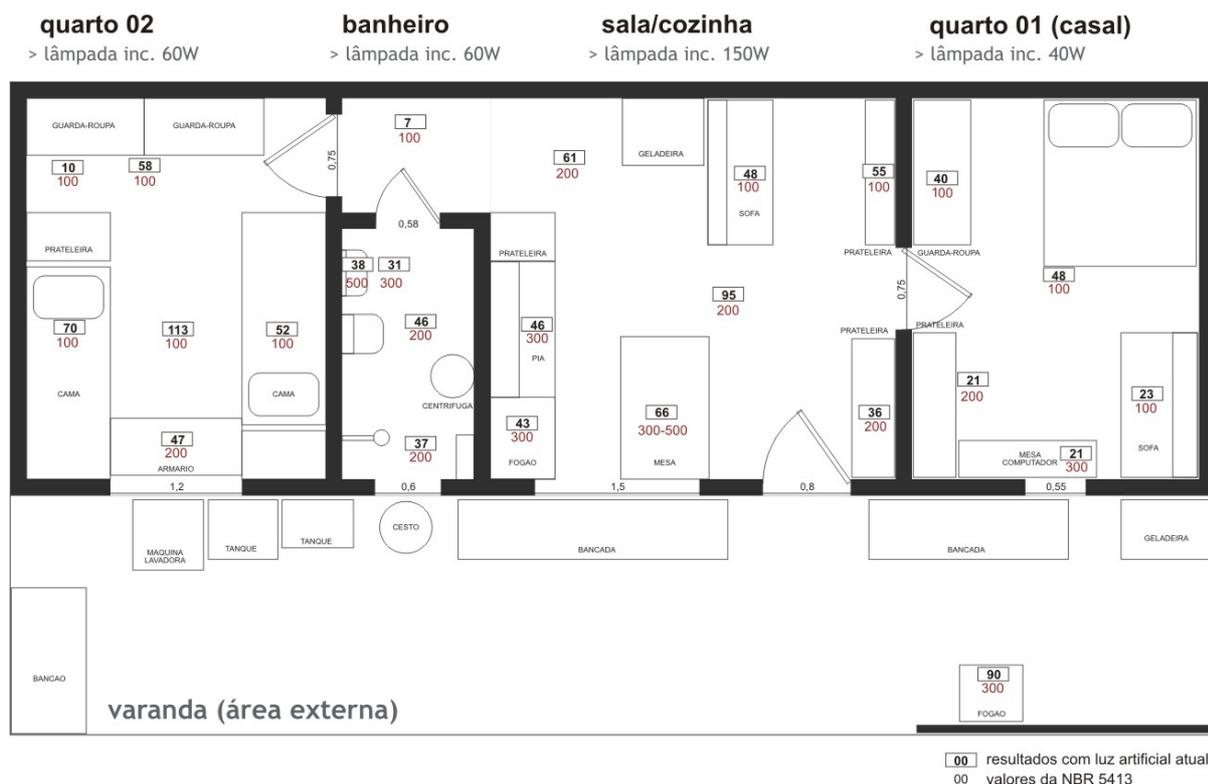


Figura 4. 10: Planta da residência com medições do luxímetro em diferentes horários do dia

Ao comparar os valores obtidos com as indicações na norma técnica, observa-se que os índices de iluminação da residência encontram-se abaixo do recomendado em diversos pontos da residência. Esses valores foram transcritos para o quadro a seguir.

Quadro 4. 6: Resultados da medição dos níveis de iluminância na residência.

<b>Sala/Cozinha</b>		
	<b>Resultado a Medição (lux)</b>	<b>NBR 5413 (lux)</b>
Centro	95	200
Mesa	66	300-500
Fogão	43	300
Pia	46	300
Geladeira	61	200
Sofá	48	100
Televisão	55	100
Prateleira	36	200
<b>Quarto 01 (casal)</b>		
Centro	48	100
Cama casal	70	100
Mesa computador	47	300
Guarda roupa	58	100
Prateleira	10	200

<b>Quarto 02</b>		
Centro	113	100
Cama 1	70	100
Cama 2	52	100
Armário/mesa	47	200
Guarda roupa 1	58	100
Guarda roupa 2	10	100
<b>Banheiro</b>		
Centro	46	200
Chuveiro	37	200
Pia	31	300
Espelho	38	500

Embora o resultado do quarto 01 (casal) tenha dado um resultado baixo, sendo o este o ambiente menos iluminado da casa, ele é mantido com iluminação fraca de forma proposital, pois o casal tem preferência de um ambiente escuro para descanso. Durante o período da pesquisa a Sra. Juliana adquiriu um computador e instalou-o no quarto de casal, que é utilizado tanto por ela quanto pelos seus filhos para estudar, portanto haverá a necessidade de adequação da iluminação decorrente dessa nova atividade (uso do computador) na casa.

De um modo geral a residência da Sra. Juliana apresenta deficiência luminosa em praticamente todos os pontos, sendo que em alguns pontos o índice chega a 20% do recomendado pela NBR 5413.

No momento de desenvolvimento desta etapa da pesquisa, todo o interior da residência estava iluminado com fonte de luz incandescente, sendo um ponto de luz por ambiente. A escolha por esta fonte luminosa apresenta um elevado consumo de energia destinado à iluminação. Somando a potência das lâmpadas chega-se ao valor de 310W, sendo que quase metade desta energia (150W) é destinada a iluminação da sala/cozinha que é o ambiente mais utilizado pelo moradores permanecendo mais tempo com a lâmpada acesa.

Em parte esses os baixos resultados devem-se ao layout da residência que possui janelas pequenas voltadas apenas para um lado da casa. Outro fato que diminui o potencial de iluminação natural é devido a cobertura da varanda que abrange todas as janelas da casa.

As implicações do baixo nível de iluminação na casa podem provocar, no longo prazo, danos ao sistema ocular dos residentes visto que eles deverão forçar a vista para as atividades que exigem maior acuidade visual. Isso se agrava nas crianças que geralmente estudam com níveis abaixo do recomendado. Isso também implica na diminuição do conforto para o estudo e consequentemente cansaço nas atividades de estudo.

#### 4.1.2.6 Resultados das Sondas Culturais

Conforme descrito no Capítulo 03 (Método de Pesquisa) foram deixadas luminárias com a família para verificar pontos de efetiva demanda de iluminação artificial no período noturno. No momento da entrega das luminárias a Sra. Juliana indicou que a luminária deveria ser colocada na sala/cozinha, sobre o fogão. No quarto onde sua mãe dorme com os dois filhos mais velhos ela indicou que a luminária poderia ser colocada no teto, aumentando a luz ambiente (mesmo a luminária não sendo apropriada para isso). No banheiro foi indicada a fixação da luminária acima do espelho e no quarto de casal foi indicado na mesa do computador – como se fosse um abajur (vide figura seguir).



Figura 4. 11: Luminárias LED de toque sendo indicada sua utilização. a) Acima do fogão; b) Acima do espelho; c) Aumentado a intensidade de luz do quarto e d) Sobre o teclado do computador

Após 20 dias, na segunda visita, foi possível observar como as luminárias foram realmente dispostas. Nesta visita estavam presentes na residência apenas a Sra. Leonina e o seu neto Danilo. Segundo a Sra. Leonina, eles utilizaram apenas três luminárias até o momento. Uma delas estava sendo usada no computador, como a Sra. Juliana havia destacado, mas ela não

estava ali fixada. Outra foi fixada acima da pia, como ilustra a fotografia e a outra é utilizada pela D. Leolina como lanterna (devido à falta de iluminação no caminho que leva a casa).

A Sra. Leolina comentou que tentou fixar uma das luminárias na parede, mas sem sucesso, pois o adesivo não era suficiente para manter o objeto preso. Quando questionada pela quinta luminária, ela comentou que não a utilizou, pois não tinha um suporte adequado para colocá-la. A intenção era colocar acima da mesa.



Figura 4. 12: Luminária de toque instalada acima da pia (imagem da esquerda) e acima do computador (imagem da direita)

Notou-se, através da aplicação desta ferramenta, uma diferença entre o que a Sra. Juliana comentou durante a aplicação da técnica paparazzi. Num primeiro momento ela comentou que a luz presente na pia era suficiente e satisfatória (positiva), mas através da aplicação da segunda ferramenta (necessidade de luz direta) ela instalou uma luminária em cima da pia, denotando uma necessidade maior de iluminação. Outro fato, dentro deste mesmo contexto é que primeiramente ela havia comentado em instalar a luminária acima do fogão, mas não o fez, pois comentou que a luz da janela já ajudava a iluminar o fogão e por isso resolveu instalar em cima da pia.

Percebeu-se que esta iluminação localizada esteve relacionada a alguma atividade de trabalho, como seu uso na pia e no computador. Um fato interessante foi o uso deste dispositivo como lanterna para acessar a casa pela Sra. Leolina, pois ela reclamava do caminho escuro. Esta

observação confirma a carência em relação a segurança apontada na análise da técnica paparazzi.

#### **4.1.2.7 Síntese dos Requisitos para o Produto e Sistema sob a Ótica do Usuário**

Os requisitos a partir do usuário formam a base para o desenvolvimento do sistema e do produto e serão utilizados como dados de entrada para as etapas de criação com outros participantes.

Predominância de ambientes multifuncionais: nota-se que os ambientes da residência atendem funções diversificadas, as quais por muitas vezes necessitam de diferentes níveis de iluminação (como por exemplo, cozinhar e assistir televisão no ambiente da sala/cozinha). Deste modo, é importante que o sistema proposto seja adaptável às necessidades do usuário e do contexto.

- Diferentes preferências em relação à iluminação: observaram-se diferentes expectativas em relação ao uso da iluminação entre as pessoas da família, como exemplo é possível citar que o marido da Sra. Juliana tem preferência por ambientes com menores níveis de iluminação enquanto a Sra. Juliana necessita de ambientes mais iluminados para executar as tarefas domésticas. Sendo assim, o sistema deve permitir a regulação da intensidade luminosa.

- Ampliação do status e estima: foi possível observar que a Sra. Juliana percebe a inadequação das instalações de sua residência. Observou-se que os ambientes em que há maior circulação de pessoas, possuem eletrodomésticos mais modernos (por exemplo: aparelho de TV 29" e computador). Esta situação permite inferir que o produto a ser desenvolvido necessita ser portador de características que ampliem a percepção de status e a estima da família.

- Ampliação da segurança: foi observada a necessidade de segurança no que se refere à iluminação exterior da residência no período noturno e também para a execução de tarefas cotidianas.

- Transparência quanto ao impacto econômico: percebe-se que existe por parte dos participantes uma preocupação econômica com relação ao uso da iluminação, havendo associação entre o uso excessivo de energia e o aumento das tarifas de energia elétrica. Entretanto, não foi observada uma preocupação com o impacto ambiental causado pela

utilização da energia ou até mesmo com o descarte das lâmpadas. Nesse sentido o sistema deve comunicar o gasto financeiro com energia.

Abaixo a síntese dos requisitos para o projeto:

- Adaptável as necessidades do usuário e do contexto.
- Permissivo à regulação da intensidade luminosa.
- Percepção de status / Apelo estético.
- Ampliação da segurança pela iluminação.
- Percepção do gasto com energia.

## **4.2 FASE 2 – DESENVOLVIMENTO**

### **4.2.1 Etapa 1 - Conceituação do Sistema Eco-Eficiente**

#### **4.2.1.1 Definição da Unidade de Satisfação**

Foi considerada como unidade de satisfação para este projeto a economia de energia e o conforto lumínico na residência. A economia de energia permite que as famílias possuam um gasto inferior na conta de iluminação, podendo destinar este recurso para atender outras necessidades. O conforto lumínico está relacionado ao bem-estar do usuário e ao correto nível de luz presente no ambiente de modo a evitar a fadiga visual ou mesmo problemas de saúde devido a má iluminação.

#### **4.2.1.2 Modelagem do Sistema**

A elaboração dos conceitos de sistemas eco-eficientes em iluminação foi realizada através de *brainstorming* de idéias com designers do Núcleo de Design e Sustentabilidade. A elaboração desses conceitos foi o suporte para o posterior desenvolvimento do produto.

Para contextualizar a execução do *brainstorming*, foram primeiramente apresentadas as etapas realizadas na fase do projeto informacional e os resultados obtidos, assim como a

unidade de satisfação a ser atendida. Posteriormente, foi apresentada uma rápida introdução da empresa Y e da tecnologia LED.

Para orientar esta atividade foi proposto o desenvolvimento das alternativas dentro das três tipologias de sistemas ecoeficientes de Vezzoli (2008). Sendo elas:

- A. Serviços provendo valor agregado ao ciclo de vida do produto;
- B. Serviços provendo “resultado finais”;
- C. Serviços provendo “plataformas facilitadoras”,

Foram apontados como requisitos do sistema a: minimização do transporte, otimização do sistema, valorização de resíduos, redução dos recursos, aumento da equidade entre os atores e valorização os recursos locais (Vezzoli, 2008). Também foram apontadas algumas possíveis estratégias de design para o comportamento sustentável como o eco-feedback e tecnologia persuasiva descritas por Lilley (2009).

Após a atividade de *brainstorming*, foram desenvolvidos três *storyboards* (panorâmicos) que condensaram as idéias mais promissoras para cada tipologia de sistema. As imagens a seguir apresentam as três propostas e suas respectivas descrições procurando representar as funções relacionadas a cada tipo de sistema.



Figura 4. 13: conceituação do sistema A

## Tipo B - Oferecendo Resultados Finais aos Clientes



Figura 4. 14: Conceituação do sistema B

### Tipo C - Oferecendo Plataformas Facilitadoras



Figura 4. 15: Conceituação do sistema C

Essas idéias foram organizadas num diagrama de polaridade (Figura 4.14) de modo a posicionar os conceitos em relação ao serviço ou plataforma de produtos que é ofertado, assim como o alto e baixo grau de envolvimento dos *stakeholders*. Cada quadrante representou uma forma diferente de abordagem, dando suporte para a decisão de escolha do sistema de referência para o desenvolvimento do projeto.

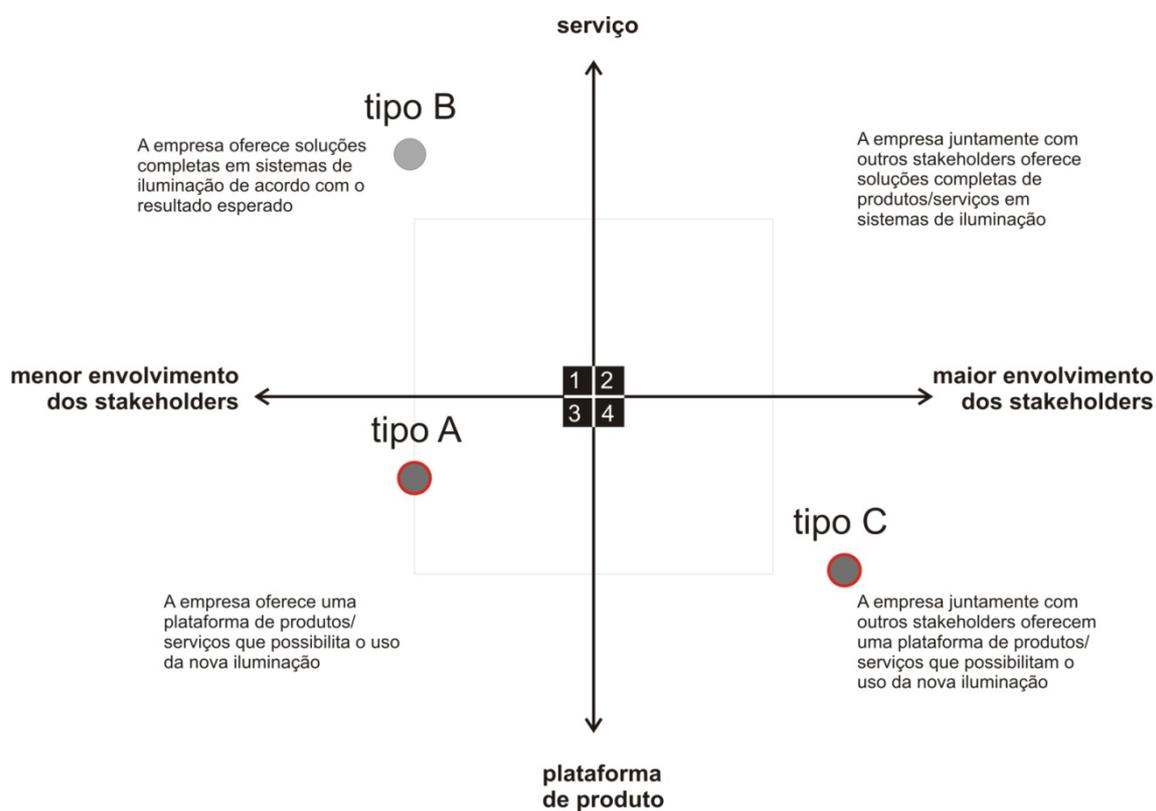


Figura 4. 16: Diagrama de polaridade.

De acordo com o objetivo desta pesquisa, que foi focada no desenvolvimento de produto, os cenários selecionados para avançar com o estudo foram o Tipo A e Tipo C por estarem mais direcionados ao modelo de plataforma.

Ambos os cenários necessitaram da elaboração do mapa de sistema para visualizar as possíveis interações entre stakeholders e atividades que estivessem alinhadas com a estrutura da empresa Y. Os resultados são apresentados a seguir.

No modelo A (Figura 4. 17) a empresa amplia seu mercado atuando diretamente com o consumidor final de iluminação, sem precisar modificar sua estrutura funcional. Desse modo

novos níveis de informação são criados como necessidades e expectativas do usuário em relação ao uso produto durante seu ciclo. Também é criado um acompanhamento para o descarte controlado do produto em sua fase final.

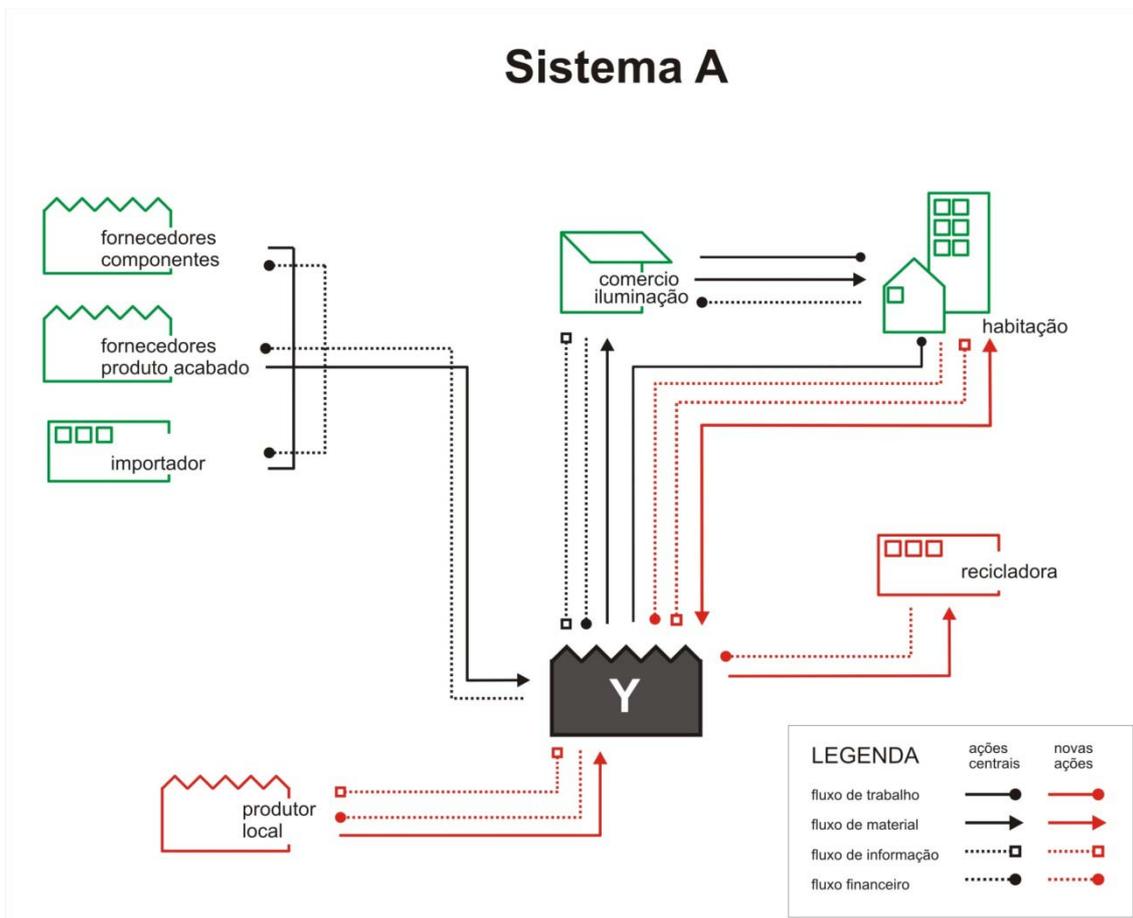


Figura 4. 17: Mapa de sistema A

Serviços associados a este sistema estão relacionados a instalação, manutenção (limpeza e troca preventiva), acompanhamento (verificação contínua do estado do produto) e reparo e retirada do produto durante seu ciclo de uso.

Os requisitos para produto gerados por este sistema estão relacionados principalmente a manutenção do produto durante seu ciclo de uso, sendo eles:

- *intercambiabilidade de peças* – permite a empresa reutilizar no produto as peças que ainda estão funcionando ou que ainda não apresentaram desgaste.
- *facilidade de montagem e desmontagem* – possibilita a manutenção de forma rápida e simples, de modo a permitir que o usuário também possa executar.

- *produção local* – o envolvimento com o produtor local minimiza o transporte de peças e permite o fornecimento mais veloz dos componentes para uma possível instalação, manutenção ou reparo

Para o modelo C, ilustrado na figura a seguir, o sistema é mais complexo, onde a empresa atua em duas formas distintas. Provendo o produto e acompanhando o uso deste produto através de uma unidade de serviço, que é também responsável pela instalação. Há um maior envolvimento de *stakeholders* que incluem atores estratégicos maiores (como uma distribuidora de energia), que podem viabilizar o produto para população de baixa-renda. Nesse modelo há uma preocupação com a identidade local e com a valorização do território de modo a criar valor para o produto.

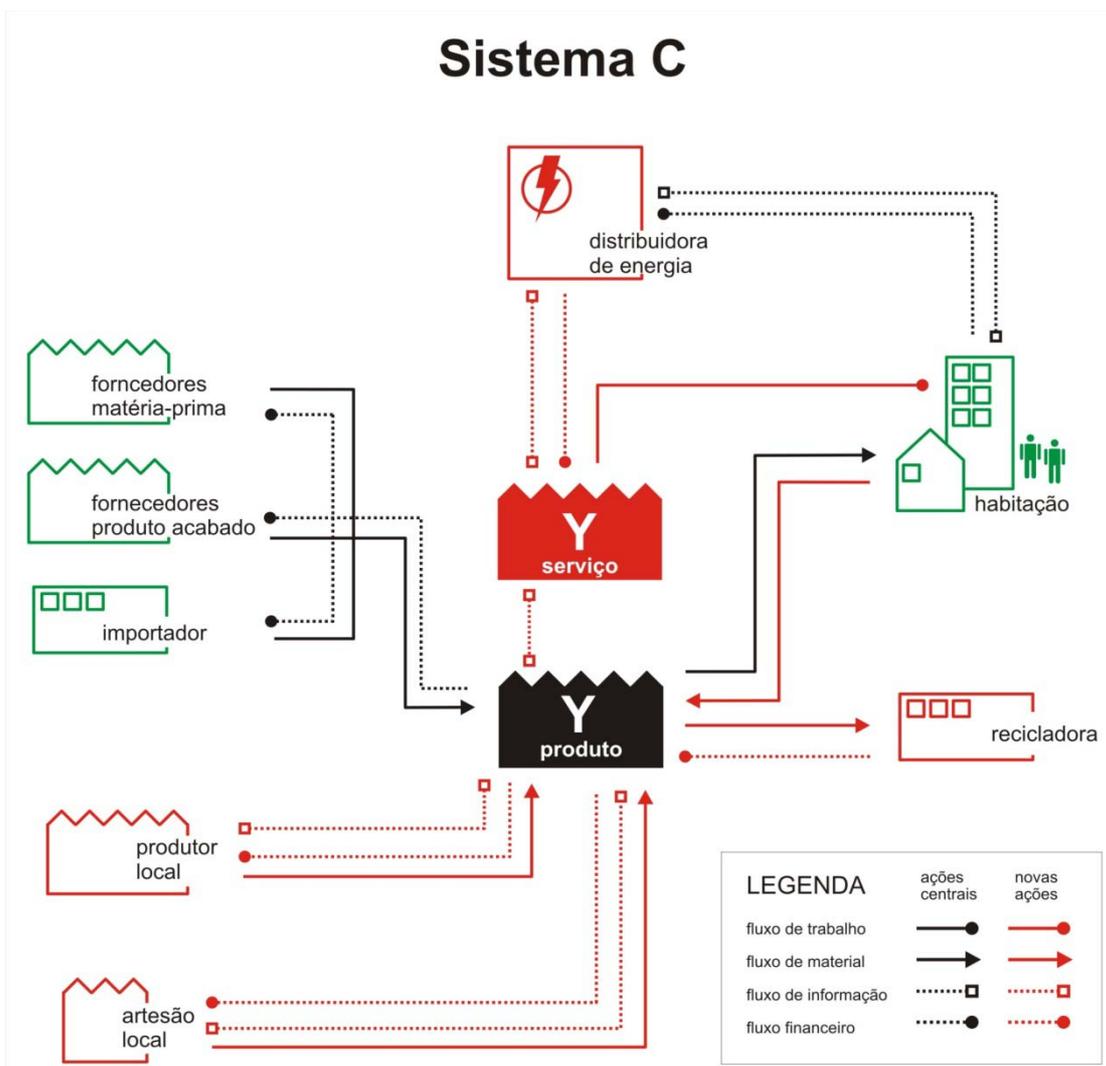


Figura 4. 18: Mapa de sistema C

Os serviços da empresa associados a este sistema estão relacionados a manutenção e reparo do produto durante seu ciclo de uso e a gestão da troca de informações com a distribuidora de energia que fica responsável pelo acompanhamento do produto (sendo a ponte de informação entre a empresa e o usuário final) e do micro-crédito, onde a distribuidora de energia financia o produto através de programas de eficiência energética para baixa renda.

Desse modo, os requisitos para produto gerados por este sistema estão relacionados a:

- *Comunicação do consumo* – eco-feedback: permitindo o usuário controlar seu gasto de energia em relação a iluminação.
- *Registro de uso* – como o usuário paga o produto de acordo com o quanto usa, o produto deve permitir registrar o consumo.
- *Padronização dos componentes* – a padronização dos componentes facilitará a oferta do produto pelo stakeholder estratégico (distribuidora de energia).
- *Produção local envolvendo a identidade local* – atribuir valor ao produto que promovendo a economia local cria uma imagem positiva para empresa atingir novos públicos.

Estabelecidos os requisitos dos sistemas de referência, seguiu-se a etapa do desenvolvimento de produto, que é descrito no tópico a seguir.

#### **4.2.2 Etapa 2 - Desenvolvimento do Produto Orientado ao Sistema**

Para este estudo foi proposto o desenvolvimento do produto utilizando as duas tipologias de LEDs de potência. A primeira proposta, Sistema A, foi utilizado LED com componente de potência embutido, pois eram também os LEDs comercializados pela empresa-alvo. Desta proposta resultará o Produto A. Para o desenvolvimento da segunda proposta, Sistema C, foi utilizado o modelo de LEDs que necessitam de controle (descritos no capítulo 2). Sendo assim, este segundo desenvolvimento envolveu o projeto de um driver, juntamente com um grupo de engenharia elétrica composto por estudantes e professores. Desta proposta resultará o Produto C.

Ambos os modelos foram testados em laboratório creditado e ambos foram instalados na casa do usuário para teste lumínico e validação.

#### 4.2.2.1 Desenvolvimento do Produto orientado ao Sistema A

Esta etapa da Fase 2 (Desenvolvimento) contou com a colaboração de um grupo de engenharia elétrica da Universidade Federal do Paraná. Este grupo visava dar suporte técnico ao desenvolvimento do produto.

##### 4.2.2.1.1 Workshop com Especialistas

Para o início do desenvolvimento do produto foram convidados para um *workshop* designers que fazem parte do Núcleo de Design e Sustentabilidade assim como designers externos que trabalham com design de produto. O *workshop* contou com doze participantes que foram organizadas em dois grupos de seis pessoas, sendo elas: dois professores doutores, uma designer especialista em iluminação, um designer/pesquisador doutor, quatro mestrandos em design, dois alunos de design e dois profissionais do mercado.

A técnica utilizada para a geração das alternativas foi o *brainwriting* 635. Primeiramente foi apresentado um contexto geral da pesquisa. Posteriormente foram apresentadas as informações obtidas na etapa do projeto informacional assim como os requisitos do usuário em relação a iluminação. Também foi realizada uma explicação sobre o sistema proposto. Posteriormente, foram apresentados os componentes LEDs de potência e um painel semântico com imagens do interior de casa família de baixa renda. A seção durou duas horas.

Como resultado deste workshop obteve-se em torno de 120 alternativas que foram agrupadas por similaridade em três blocos de ideias: soluções em trilhos, soluções modulares e soluções articuladas.

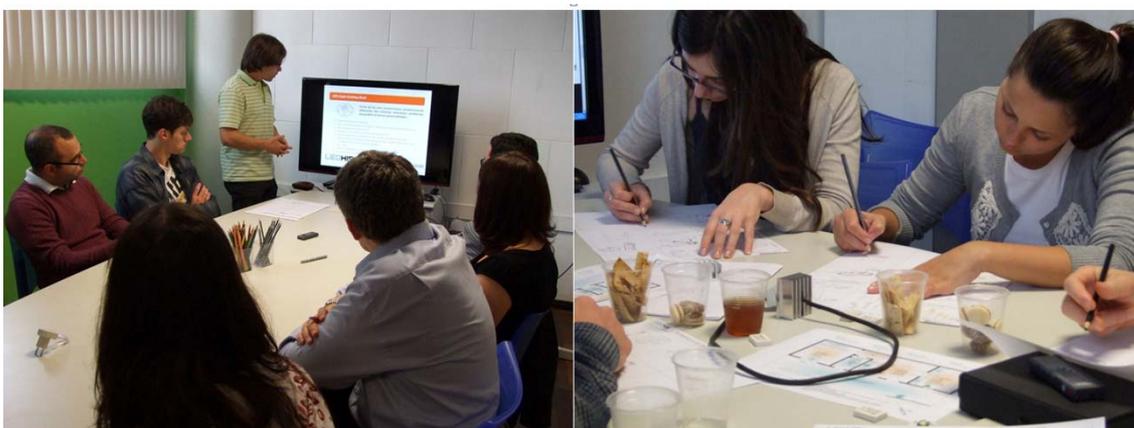


Figura 4. 19: workshop de criação realizado com designers.

Esses conceitos foram então apresentados num segundo workshop, composto por professores e alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, onde foram debatidos com foco principal na viabilidade técnica das soluções de acordo com os requisitos de facilidade de montagem e segurança na instalação elétrica.



Figura 4. 20: workshop com o grupo de engenharia.

Após essa etapa uma equipe composta por quatro designers debateu as soluções levando em consideração as recomendações e os apontamentos do grupo de engenharia elétrica chegando a um consenso para definição do produto.

O sistema de iluminação é baseado numa plataforma central com quatro suportes para adição dos módulos LED (compostos por dissipador e chipled). Esses módulos podem apresentar potências diferentes e podem ser configurados de acordo com a necessidade do usuário. Eles também podem ser ligados separadamente criando uma escala de luminosidade no ambiente. Esta plataforma tem como principal função efetuar a iluminação geral do ambiente.

Nesta plataforma central também podem ser adicionados módulos móveis que tem a função de direcionar a luz para a região onde há necessidade de mais iluminação. Os módulos LED presentes neste componente são os mesmos utilizados na plataforma central.

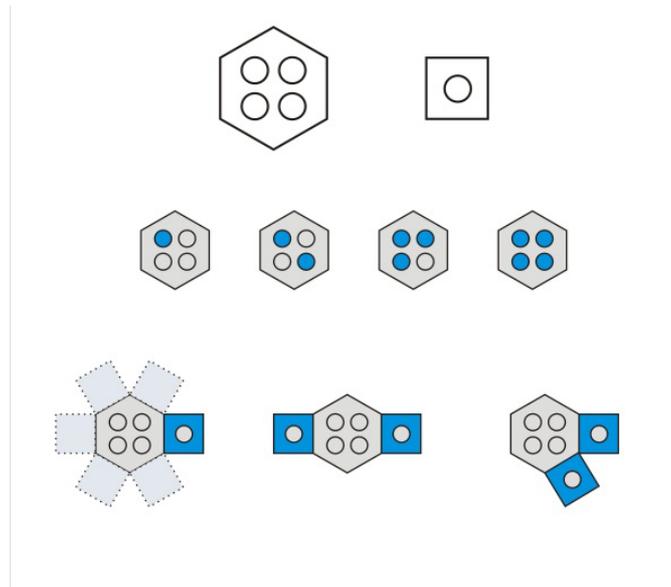


Figura 4. 21: conceito de funcionamento da proposta selecionada

O formato hexagonal é justificado pelo maior número de arestas presentes no polígono, que no caso da luminária, significa um maior número de pontos de encaixe para o módulo móvel, sendo possível direcionar a luz para 6 diferentes direções no ambiente, como é ilustrado na figura a seguir.

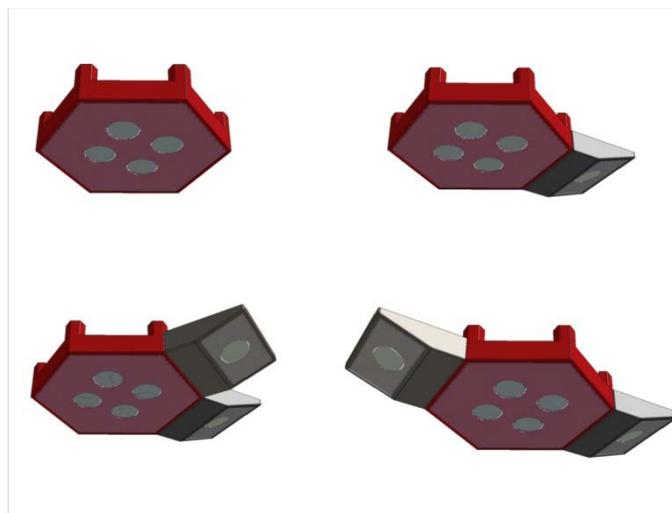


Figura 4. 22: Modelo virtual do sistema de iluminação desenvolvido em software 3D.

O módulo móvel (na cor preta), pode ser alterado a qualquer instante e posição em relação a plataforma (cor vermelha), permitindo ao usuário direcionar a luz a qualquer momento para o lado que houver maior necessidade, ou mesmo criar uma iluminação isolada.

A interface entre a plataforma e o módulo móvel foi estabelecida juntamente com o grupo de engenharia elétrica, onde foi sugerida a utilização da tomada padrão ABNT NBR 14136, devido a garantir a segurança para o usuário da ligação elétrica. Outra vantagem da utilização da tomada como interface é que isso possibilitou, a este módulo, a conexão com a tomada padrão existente na casa.

Este conceito procurou atender aos requisitos de flexibilização da iluminação ao contexto de uso e a regulação da intensidade luminosa, visto que diferentes atividades são realizadas na casa e necessitam de intensidades distintas.

O desenho virtual do sistema e o projeto detalhado do produto foram feitos utilizando o software de modelagem 3D, Catia V5 da Dassault Systems. O desenho virtual permitiu efetuar o planejamento da composição dos componentes, assim como um estudo para construção do modelo físico e do protótipo.

#### 4.2.2.1.2 Seleção dos Materiais

O conceito do sistema de iluminação foi novamente apresentado ao grupo Engenharia Elétrica da UFPR composta pelos mesmos participantes do *workshop* anterior. O objetivo desta etapa foi definir os componentes elétricos que deveriam ser utilizados para este projeto.

Os LEDs de potência selecionados para construção deste protótipo foram da empresa Seul Semicom – Acriche (vide figura a seguir), modelo AN4214 de 8 watts<sup>9</sup>, AN3211 de 4 watts (em 3300K e 5500K) e AN2214 de 2 watts eram comercializados pela empresa-alvo. Estes LEDs atendiam ao critério de seleção descrito no capítulo 3.

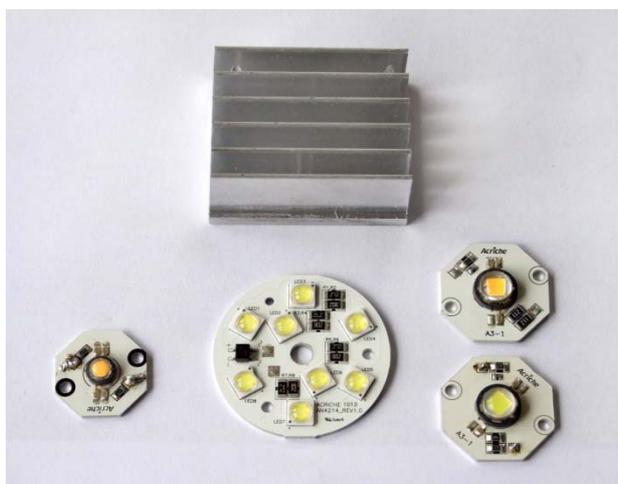


Figura 4. 23: Leds de 8, 4 e 2 Watts da SeulSemicom juntamente com dissipador padrão que foram utilizados para desenvolvimento do protótipo

---

<sup>9</sup> Potência de referência

Para realizar o controle de acionamento dos LEDs a equipe de engenharia construiu um controlador eletrônico que permite ligar partes do conjunto de modo independentemente oferecendo maior flexibilidade ao usuário para definir o tipo que luz que deseja no ambiente. Como forma de trabalhar a minimização de recursos, foi definido que o fio utilizado para conectar o sistema de iluminação ao interruptor seria feito com cabos de rede. A etapa seguinte foi a construção de um modelo físico funcional para testes iniciais.

#### 4.2.2.1.3 Construção do modelo em escala

Um modelo em escala foi produzido numa impressora 3D. Este modelo facilitou a explicação do conceito aos membros do grupo de engenharia elétrica assim como possibilitou as discussões de detalhes para o funcionamento do produto.



Figura 4. 24: Impressão 3D do conceito

Com este modelo foi possível vislumbrar novas formas de construção da luminária, como por exemplo, a integração do dissipador ao corpo do produto. No entanto, é necessário manter o foco para manter a fidelidade com os conceitos levantados nas etapas anteriores.

A prototipagem rápida por impressão 3D permitiu testar diferentes conceitos em campo dando a esta etapa um carácter ilustrativo, oferecendo suporte ao conceito gerado.

#### 4.2.2.1.4 Construção do modelo físico funcional

Para a avaliação da viabilidade funcional do conceito descrito na seção anterior foi necessária a produção de um modelo funcional com base no modelo virtual previamente desenvolvido. O modelo foi produzido utilizando como material principal para a estrutura das duas peças uma espuma de poliuretano expandida (PN 301 – Hard, densidade 0,30g/ m<sup>3</sup>). Este material permitiu facilidade em esculpir as formas desejadas resultando num bom nível de acabamento. Foi definido o uso de *plugs* de tomada padrão ABNT NBR 14136, para conexão dos módulos ao sistema central. A escolha se deu pela facilidade de encontrar este componente no mercado e por ser um sistema já testado e seguro para uso doméstico.

As imagens a seguir apresentam o modelo construído com os LEDs de potência instalados.

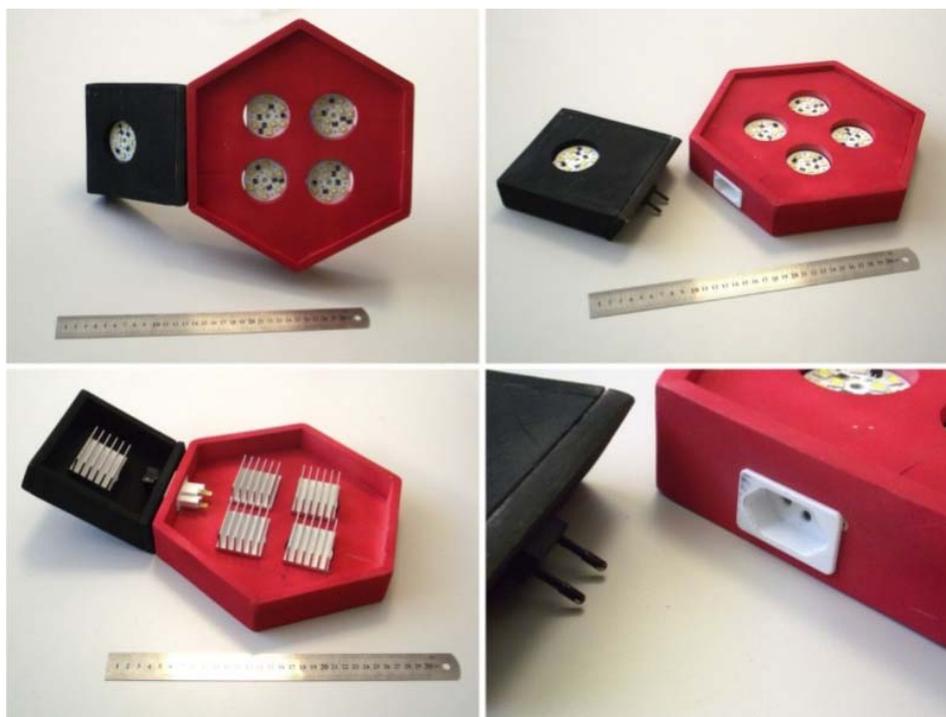


Figura 4. 25: Protótipo do sistema de iluminação.

A título de testar a funcionalidade dos componentes, o modelo foi instalado na Casa 1.0 da Universidade Federal do Paraná. Esta residência é destinada para avaliações de tecnologias voltadas à habitação de interesse social e o layout desta habitação é semelhante aos utilizados pela Companhia de Habitação do Paraná. Verificou-se que o modelo apresentou estrutura estável e usabilidade satisfatória, permitindo partir para etapa da construção do protótipo.

#### 4.2.2.1.5 Construção do Protótipo

Para a construção do protótipo foi preconizado à utilização de chapas de aço, envolvendo o processo de corte e dobra, e acabamento em pintura epóxi. A utilização deste processo e material levou em conta adurabilidade e resistência proporcionados pelo material que permitem otimizar o ciclo de vida em relação ao uso no sistema. O processo de corte e dobra permite a sua aplicação em possível larga escala. A fabricação foi realizada por uma pequena empresa de Curitiba especializada nesse tipo de processo. A figura a seguir apresenta o protótipo em metal já montado.

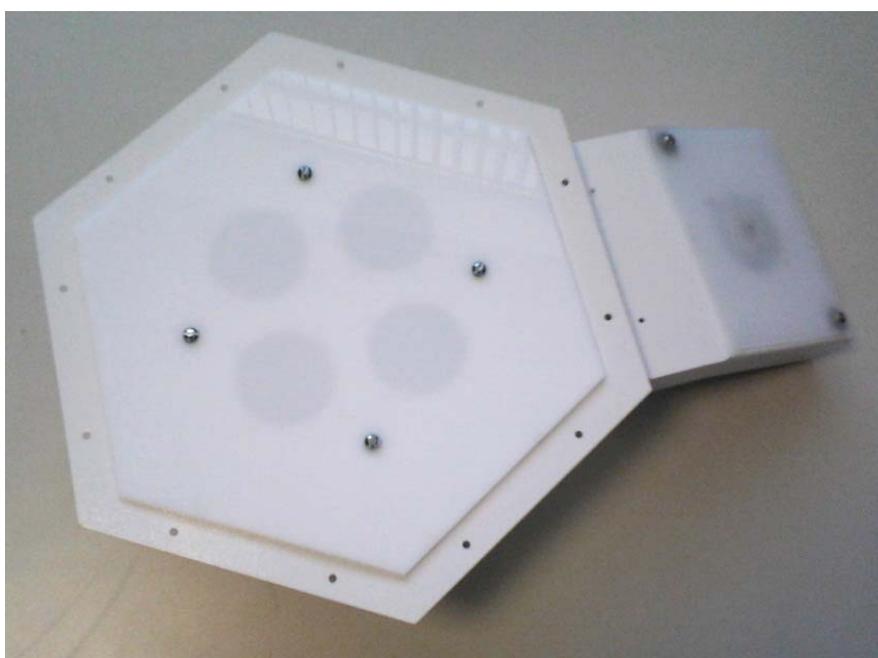


Figura 4. 26: Modelo do protótipo confeccionado em metal

Foi adicionado um difusor de luz composto por uma chapa acrílica com o intuito de evitar o ponto luminoso muito intenso produzido pelo LED.

#### 4.2.2.1.6 Análise do Produto em relação aos Requisitos do Sistema A e do Usuário

O produto final (Produto A) permitiu o atender aos requisitos do usuário relacionados a adaptação para as necessidades específicas e a regulagem da intensidade luminosa, através da configuração de diferentes módulos LED de potência e temperatura de cor que podem ser conectados a plataforma. A flexibilidade proporcionada pelo módulo móvel da luminária também contribuiu para o atendimento a estes requisitos, provendo iluminação localizada

atendendo as demandas da baixa iluminância apontadas no projeto informacional, resultando em melhora do conforto lumínico e do bem estar.

Não foram atendidos os requisitos de percepção do gasto com energia e apelo estético. Primeiro porque não foram desenvolvidos mecanismos que pudessem medir o consumo. Para atender este requisito com este produto, seria necessário instalar um aparelho a parte (não integrado). Segundo, porque no produto não foram incorporados símbolos que referenciem o contexto do usuário. Desse modo o produto foi tido como uma ferramenta.

Considerando o fluxo de atividades do usuário (Quadro 4.1) este produto atende a maior parte das tipologias de iluminação, porém o correto atendimento no quesito temperatura de cor (quente ou fria) fica sujeito a escolha dos módulos LEDs adequados a tarefa.

Com relação aos requisitos do Sistema A, o conceito do uso de módulos LED possibilitou a intercambiabilidade entre os diferentes nichos de encaixe possíveis na plataforma central, permitindo a manutenção ou troca de apenas uma parte do produto.

Ao requisito da facilidade de montagem e desmontagem, procurou-se determinar a montagem por sobreposição de modo que o usuário (ou prestador de serviço) tenha acesso fácil ao interior do produto. Porém, devido ao processo utilizado há a necessidade de desenvolver melhor mecanismos de interface entre os componentes para obter um resultado mais satisfatório.

O produto atendeu ao requisito de confecção local, sendo apenas os componentes LED importados. Isso permitiu demonstrar que o produto pode ter sua cadeia produtiva localmente, dependendo apenas da tecnologia de iluminação para oferta de um produto.

O atendimento aos requisitos de sistema acima mencionados oferecem as condições para os serviços de manutenção e reparo do produto relacionados ao Sistema A e permitem a continuação desta pesquisa no desenvolvimento de outros possíveis serviços de oferta relacionados. Com produto acabado também é possível realizar a prototipagem de um modelo de serviço (que se adéque ao sistema de referência) com maior fidelidade, provendo um *feedback* mais substancial ao pesquisador.

O protótipo finalizado foi encaminhado para um laboratório técnico creditado para avaliar sua eficiência energética em relação ao fluxo luminoso. Os resultados obtidos nesse teste estão decritos mais adiante, no tópico 4.3.

#### 4.2.2.2 Desenvolvimento do Produto orientado ao Sistema C

Esta proposta visa utilizar os LEDs de potência isentos de componente de potência embutido. Esta tipologia de LED exige a necessidade de um controlador (driver) para alimentação elétrica. Nesse sentido foi realizado um trabalho em conjunto com o grupo da Engenharia Elétrica, para o desenvolvimento desse dispositivo. O projeto das funções driver foi guiado pelas orientações desta pesquisa, com vistas atender os requisitos antes mencionados.

Também foi realizado um esforço para criar uma cadeia de valor ao produto procurando envolver diferentes atores no processo de produção do produto com vista a trazer a valorização do território regional. Esse esforço está relacionado a aproximação da empresa-alvo com os produtores locais que também podem participar do sistema eco-eficiente.

##### 4.2.2.2.1 Seleção dos materiais

Para desenvolvimento desta proposta os critérios de seleção dos LEDs foram os mesmos estabelecidos na proposta anterior. Sendo assim foram selecionados os modelos NVS 219 da fabricante japonesa Nichia (2012). A figura a seguir mostra o módulo LED, composto por três chipleds e dissipador. Este LED atende aos critérios mencionados no capítulo 3.

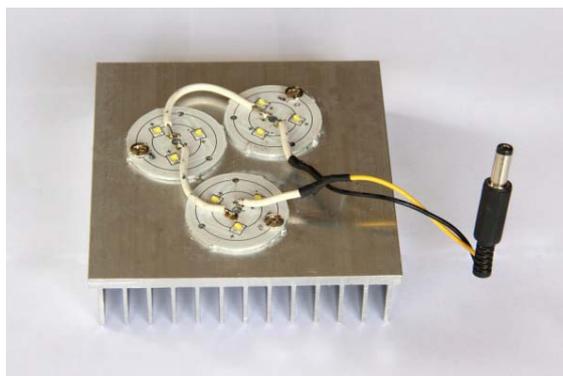


Figura 4. 27: Módulo LED para Sistema C.

O sistema que fornece “plataformas facilitadoras” aos clientes exige o envolvimento de outros atores para compor o sistema e criar uma cadeia de valor. Sobre esse ponto, procurou-se estabelecer o envolvimento de produtores locais para produção do produto referente a este sistema.

Identificou-se pela pesquisa realizada por Ecker et al (2003) que a região de Campo Largo possui grande tradição na produção de cerâmica, sendo conhecida como a “Capital da Louça” no Brasil. Nesta região existem muitos artesãos que trabalham com o material, assim como pequenas e médias empresas. No entanto, este setor é duramente afetado pela importação de produtos importados, resultando no fechamento de algumas fábricas e abandono do ofício pela maioria dos artesãos.

Dentro deste contexto, procurou-se trabalhar de forma a estabelecer uma rede de produção entre uma fábrica de porcelana e o artesão de modo a criar uma rede de valor. Dessa forma a empresa Y poderia ofertar produtos que podem ser produzidos localmente e ao mesmo tempo recebendo uma identidade característica da região devido ao trabalho artesanal (que envolve o toque pessoal). Assim como comenta Lucca (2012), é possível trazer uma força renovadora para articular a competitividade do território, como também para fundar as bases para uma formação comunitária mais igualitária, promovendo a prosperidade local. Sendo assim, o material cerâmico foi definido para construção deste produto.

#### **4.2.2.2.2 Processo de Produção do Produto**

O desenvolvimento da luminária para este sistema de iluminação foi, formalmente, baseado no modelo em metal. Porém, como foi estabelecido a utilização do material cerâmico foi necessária a adaptação do seu desenho para viabilizar a produção. Essas adaptações visaram manter a estrutura estética original da luminária para não descaracterizar o projeto.

Para este protótipo inicial obteve-se por excluir o módulo móvel devido a complexidade projetual para o curto período de tempo deste estudo. Foi mantido apenas a plataforma central por este ser o item mais importante do sistema.

A implicação disto para os requisitos é que o produto perde a característica de direcionar a luz para regiões que necessitam de mais iluminação. Outro fator é que o produto se torna menos flexível, visto que ele sempre estará fixo no teto da residência.

Abaixo seguem algumas das adaptações que foram necessárias para o processo cerâmico tendo como base o projeto do sistema de iluminação em metal.

1. **Arredondamento dos cantos vivos** – o material cerâmico não permite cantos e quinas devido as rachaduras durante o processo de queima, por esse motivo foram feitos arredondamentos nas quinas das peças.
2. **Criação de áreas de ventilação** – foram deixados espaços para ventilação dos dissipadores dos LEDs. No modelo anterior, eram utilizados quatro parafusos como espaçadores de metal.
3. **Nova área de fixação** – foram definidos seis furos. Três para fixação do corpo da luminária e três para fixação do difusor de luz.
4. **Nova área de posicionamento dos LEDs** – foi criada uma área para encaixe de uma plataforma que permite receber diferentes configurações de placas eletrônicas contendo os LEDs de potência.
5. **Diminuição do tamanho** – o produto foi redimensionado como forma de minimizar o uso de material.

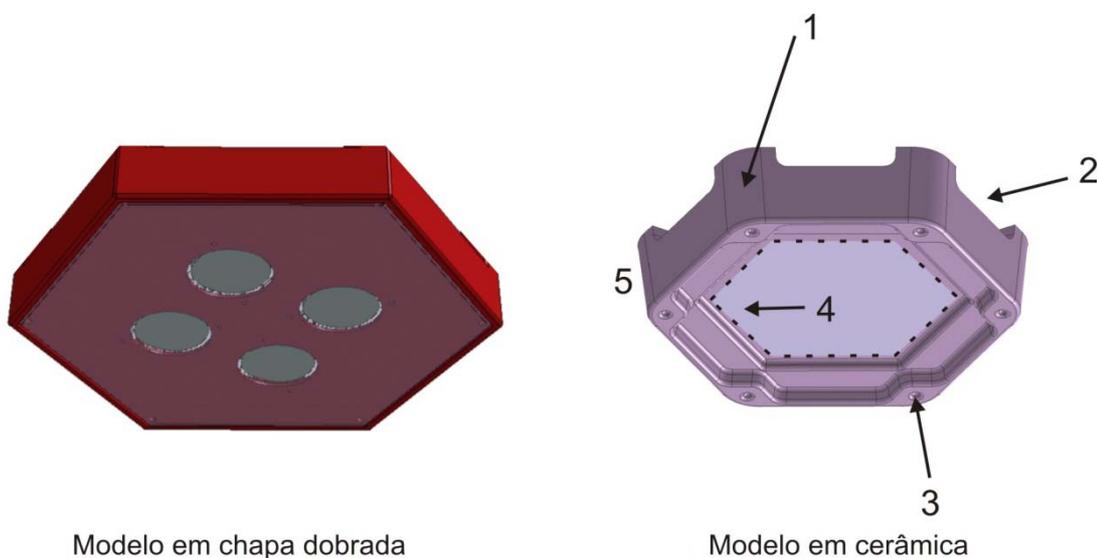


Figura 4. 28: Indicações da adaptação necessária para o modelo cerâmico.

Realizadas as adaptações, seguiu-se a etapa de projeto de molde e pré-molde. Esta etapa tem como finalidade criar as matrizes para produção dos moldes de gesso que permitem a produção seriada e em escala do utensílio.

O molde de gesso para o módulo central é constituído de duas partes:

1. Corpo da peça
2. Boca de enchimento

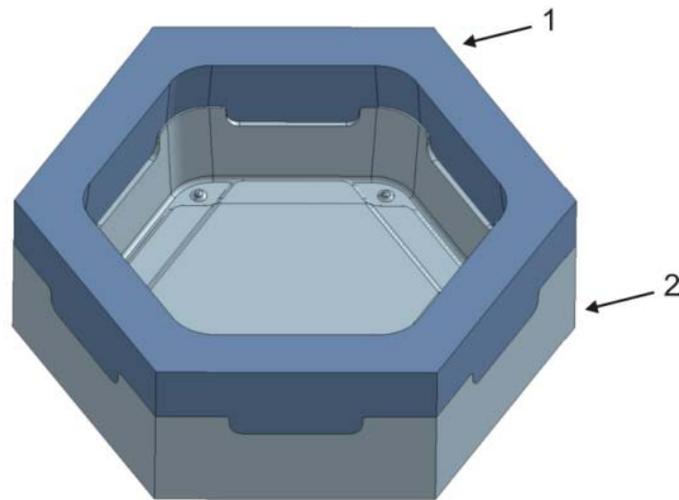


Figura 4. 29: Molde de gesso completo, contendo as duas partes.  
Fonte: Autor, 2012

Essa fase do projeto foi realizada virtualmente utilizando o software de modelagem 3D Catia V5. Ao final foram desenvolvidas duas matrizes, uma para boca de enchimento do molde e outra para o corpo da peça como mostra a figura a seguir.

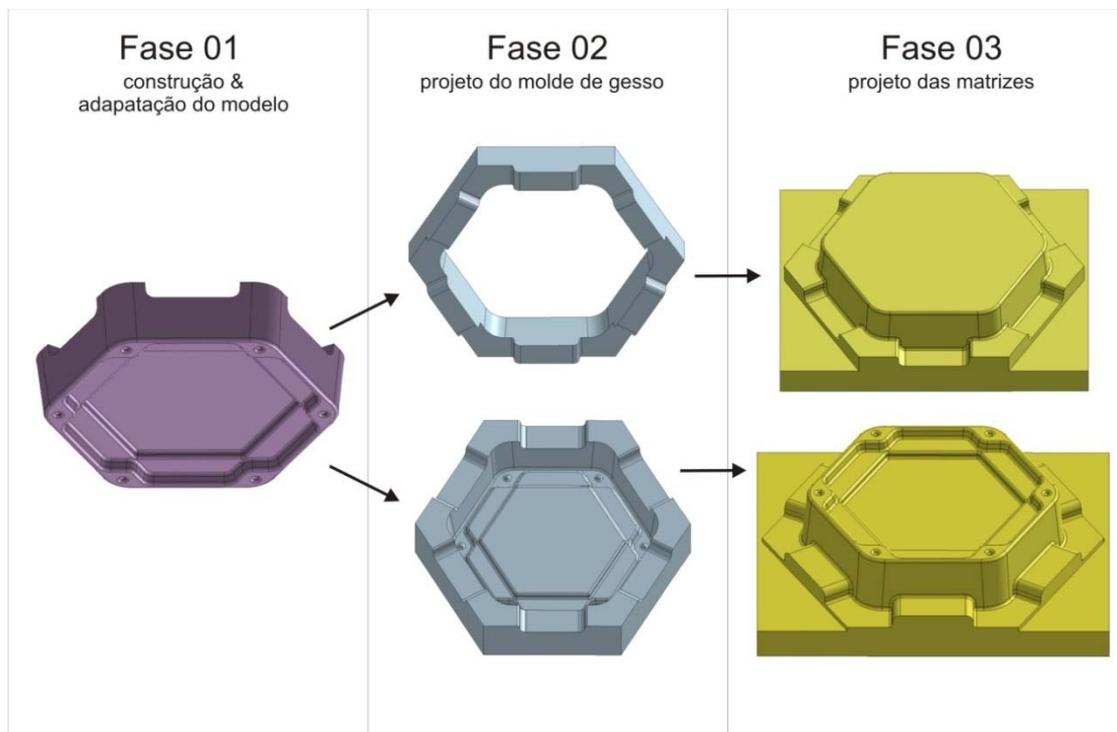


Figura 4. 30: Fase do desenvolvimento das matrizes.

Posteriormente foi passada para etapa de CAM (Computer-Aided Manufacturing). Nesta etapa foi realizado o planejamento da usinagem das matrizes para equipamento CNC (computer numerical control), onde é dada a entrada no tipo de material a ser usinado, as ferramentas a serem utilizadas e planejamento do tempo necessário para cada unidade.

O material utilizado na usinagem foi poliuretano de alta densidade (PN 301 – Hard, densidade  $0,30\text{g}/\text{m}^3$ ). As fresas tinham diâmetro de 20mm (para desbaste do material) e de 6mm (para acabamento). Foi utilizado o software EdgeCam sob orientação de um professor da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná para o planejamento da usinagem e realização da simulação virtual do processo com a intenção de prever possíveis falhas. A figura 4.29 a seguir demonstra o processo de usinagem simulado.

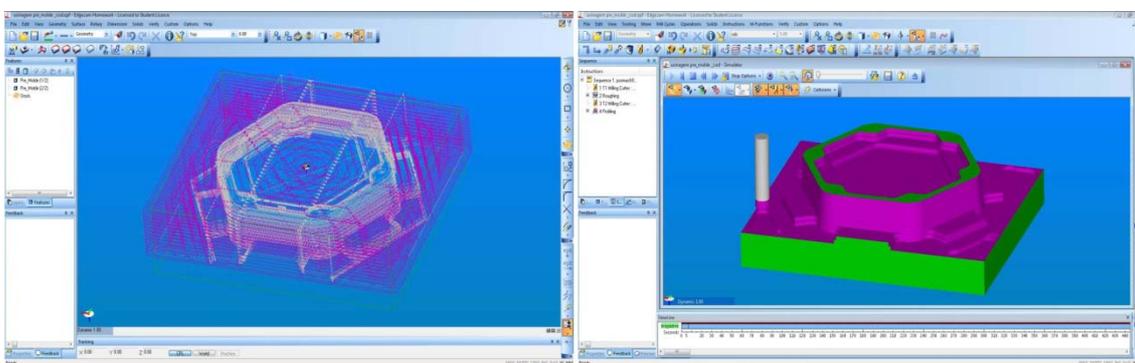


Figura 4. 31: Planejamento da usinagem das matrizes no software EdgeCam.

Por meio da simulação foi possível detectar a colisão do cabeçote do equipamento com o corpo da peça devido a pequena dimensão da fresa. Isso exigiu uma adaptação no desenho da luminária, que resultou na diminuição de sua altura original do produto em 6mm. O equipamento utilizado na usinagem foi uma fresadora ROMI 4250, como é apresentado na figura 4.30.

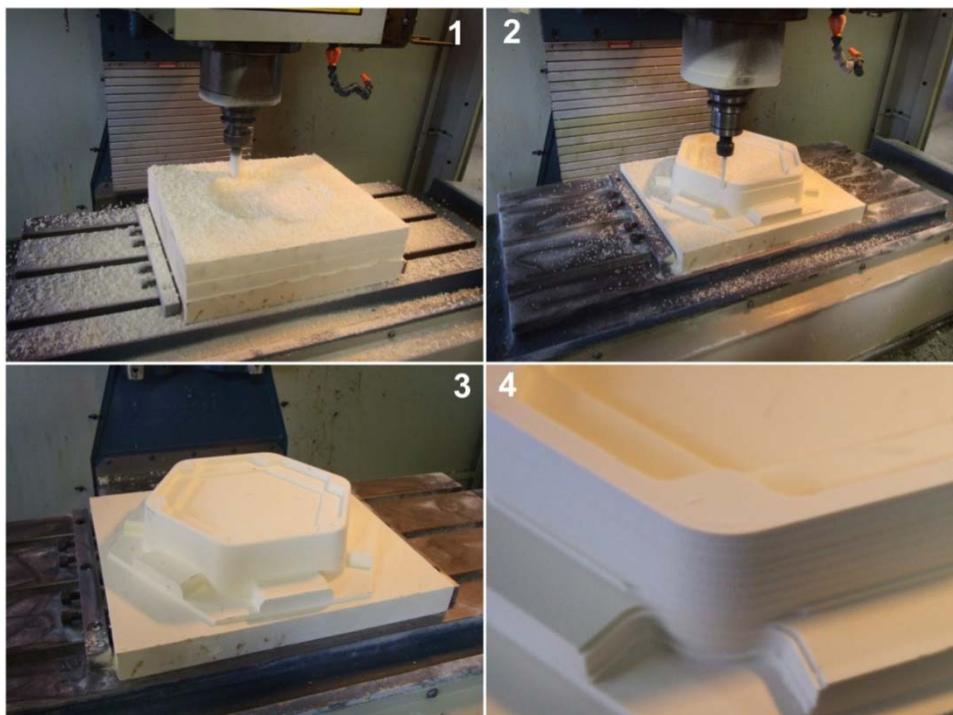


Figura 4. 32: Usinagem das matrizes. (1) Entrado do bloco retangular de PU na máquina CNC. (2) Usinagem em andamento. (3) Usinagem finalizada com o pré-molde do corpo. (4) Detalhe da usinagem intermediária.

Após a usinagem, foi realizado o desbaste de material excedente de modo a permitir que a forma tenha o formato hexagonal e utilize menos material. Um acabamento manual final com lixa fina foi necessário para tornar a superfície mais lisa para facilitar o desmolde das formas de gesso.

A etapa da construção das formas de gesso seguiu o modelo tradicional. Foi feita a “caixaria” onde o gesso, misturado a água, é vertido até o momento de cura para desmoldagem.

O molde de gesso foi levado para uma pequena fábrica de porcelana na região de Campo Largo para produção das peças. A produção foi realizada através do processo de colagem, onde é usada a massa líquida de cerâmica. A figura 4.31 demonstram este processo.

Devido a deformação da porcelana durante a queima na etapa final do processo de produção, foi necessário modificar a posição original da peça para execução da segunda queima. Porém, essa modificação não alterou funcionalmente o produto, que apresentou bom acabamento final e permitiu a correta montagem dos componentes.

Como forma de diferenciação do produto e valorização do saber local foi proposta a decoração da luminária por uma artesã especialista em pintura de porcelana. O contato com esta artesã aconteceu por meio da indicação do proprietário da fábrica de porcelana. Esta artesã é

descendente de imigrantes alemães tendo aprendido este ofício com sua mãe. Foi proposto que ela decorasse a peça livremente, a seu critério e com suas referências, como é demonstrado na figura seguinte.



Figura 4. 33: Peça customizada pela artesã.

Após a etapa de decoração da peça, foi realizada a montagem do conjunto de componentes para realização dos testes de eficiência energética em laboratório, tema do tópico 4.3.1. A peça final é apresentada na figura a seguir.



Figura 4. 34: Produto em sua versão final com e sem o difusor.

O tópico a seguir apresenta o desenvolvimento do driver para este produto.

#### 4.2.2.2.3 Desenvolvimento do dispositivo de controle (driver): parâmetros sob a ótica do Design

Esta tipologia de LED necessita do uso de um driver para o sistema de iluminação funcionar. O driver permite a saída estável e controlada da corrente elétrica e foi otimizado para monitorar toda a estrutura do sistema de iluminação até a capacidade de 48 watts, potência máxima prevista para iluminar um cômodo da residência. Seu desenvolvimento foi orientado para atender os requisitos de projeto que visam atender o sistema e que foram levantados na etapa informacional. Ele foi confeccionado por um aluno de engenharia elétrica e orientado por dois professores do curso de Engenharia Elétrica da UFPR.

O driver possibilitou ao sistema de iluminação incorporar mecanismos de controle da luminosidade e elementos de sensoriamento, assim como permitiu a comunicação com softwares externos para regularem digital dos leds. O projeto deste driver é detalhado no Apêndice 05. A imagem a seguir mostra o driver desenvolvido em sua versão de funcionamento.

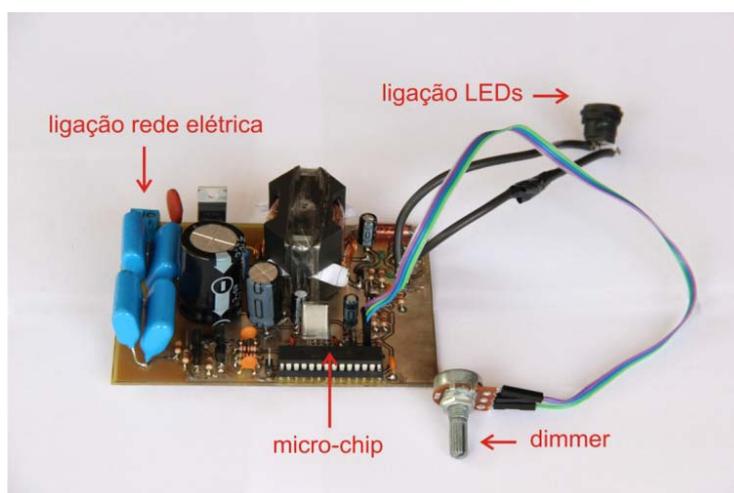


Figura 4. 35: Driver desenvolvido para o conjunto de LED

Os dispositivos eletrônicos que podem ser conectados a este sistema de iluminação como sensores de presença, relógios e contadores são controlados por um micro-controlador (*microchip*). Este componente capacitou o embarque de softwares pré-desenvolvidos para controlar eletronicamente o funcionamento da luz como níveis de intensidade pré-determinados e tempo de duração de acionamento. O iconográfico (Figura 4.34) resume as potencialidades do uso deste componente para o produto.

O uso destes sensores podem ser integrados a outros produtos criando periféricos que auxiliam o uso sustentável da iluminação. Como, por exemplo, um sensor de luminosidade integrado ao interruptor. O sensor medirá a iluminância do ambiente e envia este dado para o driver, que regula (através do dimmer) a intensidade de luz que o LED deve emitir. Isso permite a integração com sistema de iluminação natural, consumindo apenas a energia necessária para atingir o nível de iluminância desejado.

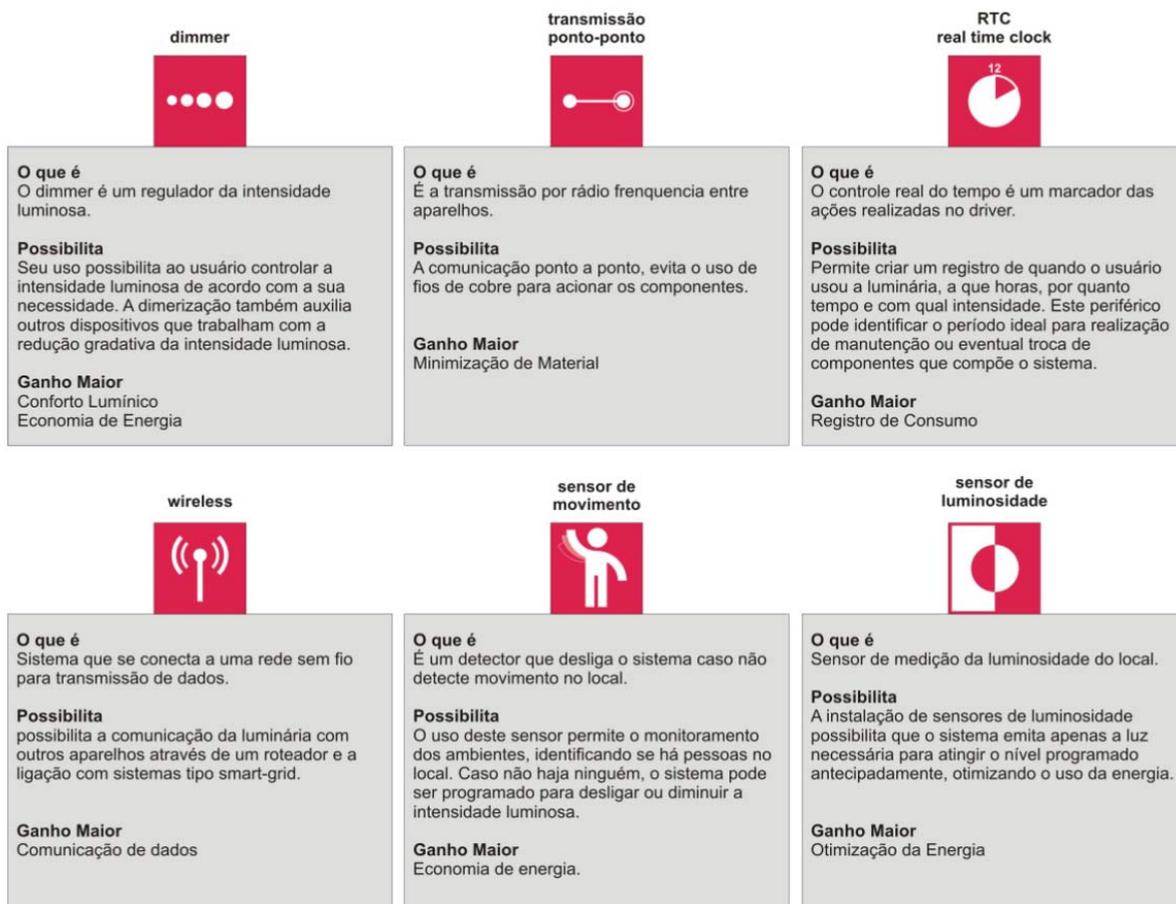


Figura 4. 36: sensores e componentes que potencializam a capacidade do driver

Outros mecanismos podem ser integrados, como uma porta USB, que permite a extração dos dados de consumo do usuário registrando a hora e a intensidade de uso do produto. Enfim, uma série periféricos podem ser desenvolvidos, porém para o design há a carência do conhecimento de computação e engenharia elétrica, sendo necessário o envolvimento de um grupo inter-disciplinar para poder extrair todas as potencialidades que esta tecnologia pode proporcionar para um uso sustentável da iluminação artificial.

O driver foi encaminhado junto com a luminária para testes em laboratórios creditados, como será apresentado posteriormente.

#### 4.2.2.2.4 Análise do Produto em relação aos Requisitos do Sistema C e do Usuário

O produto desenvolvido para o sistema C (Produto C) possibilitou o atendimento aos requisitos do usuário referentes a permissão da regulagem luminosa que é obtida através do dimmer controlado pelo driver. A percepção de status e apelo estético foi obtida através da decoração na superfície do produto realizada pela artesã atribuindo ao artefato uma linguagem local caracterizando-o com o território. A percepção do gasto com energia também foi atendida com o uso do controlador (*microchip*) que pode registrar o consumo do usuário e emitir um sinal de aviso, porém ainda há a necessidade de desenvolver uma interface comunicativa.

Porém, esta configuração somente pode ser realizada com um especialista em engenharia elétrica e foge do âmbito do design de produto. Nesse sentido o design pode orientar o engenheiro elétrico na busca de uma solução mais propícia para atender a satisfação do usuário.

O requisito de ampliação da segurança não foi contemplado. Com relação a adaptação do produto as necessidades do usuário e do contexto, este requisito não foi atingido, visto que o produto deve ficar fixo ao teto.

De acordo com o fluxo de atividades da família (quadro 4.1) este produto atende somente a modalidade de iluminação difusa central, sendo isso o seu limitador. Ele não permite a iluminação localizada, nem direcional como a solução proposta no para o Sistema A. No entanto, este produto tem o potencial de possibilitar o controle da temperatura de cor da luz através de uma nova configuração do driver. Isso permitiria ao usuário ajustar a luz de acordo com a atividade de lazer ou trabalho, provendo um conforto lumínico maior.

Aos requisitos demandados pelo sistema C, este produto permitiu atender a necessidade de registro do consumo através *microchip* presente no driver que pode mapear o hábito de uso do usuário. A partir desse ponto o designer pode criar estratégias dentro das categorias propostas por Lilley (2009) como eco-feedback, tecnologia persuasiva ou condicionamento do uso que podem ser gerenciadas pelo Sistema. Porém, como dito anteriormente, a implementação dessas estratégias atreladas ao produto (driver) necessitam do suporte de conhecimento da engenharia elétrica.

A viabilidade da produção local envolvendo uma pequena empresa de cerâmica e uma artesã, demonstrou que é possível envolver a comunidade local para criar uma rede de valor na produção do produto.

Aos serviços relacionados ao sistema C, foi possível visualizar o atendimento aos requisitos de gerenciamento do ciclo de vida do produto, visto que o driver permite registrar o consumo do produto, estimando sua vida útil de funcionamento. Não foi possível contemplar mecanismos que atendessem de forma satisfatória aos requisitos de manutenção e reparo, pois seria necessário desenvolver todos os mecanismos de interface entre os componentes suas interações com o conjunto de todo o produto.

De um modo geral, o projeto para atender este sistema é mais complexo e demanda maior volume de tempo, porém os resultados obtidos vislumbram uma categoria maior de ação para o design voltado as estratégias para sustentabilidade em iluminação residencial.

O quadro a seguir resume os resultados obtidos por cada uma das propostas desenvolvidas em relação aos requisitos de sistema e requisitos de produto.

Quadro 4. 7: Resumo dos resultados ao atendimento dos requisitos de sistema e de produto.

	<b>Requisitos</b>	<b>Sistema A</b>	<b>Sistema C</b>
<b>Requisitos de Sistema</b>	Intercambiabilidade das peças	Sim	Não
	Facilidade de montagem/ desmontagem	Não	Não
	Confecção local do produto	Sim	Sim
	Comunicação do consumo de energia	Não	Sim
	Registro de consumo	Não	Sim
	Padronização dos componentes	Sim	Não
	Envolvimento de aspectos da cultura local	Não	Sim
<b>Requisitos do Usuário</b>	Adaptável as necessidades do usuário e do contexto	Sim	Não
	Permissivo à regulação da intensidade luminosa	Sim	Sim
	Percepção do status / apelo estético	Não	Sim
	Ampliação da segurança pela iluminação	Sim	Não
	Percepção do gasto com energia	Não	Sim

Nota-se que cada uma das propostas atende a um conjunto de requisitos diverso, possibilitando a cada sistema-produto sua aplicação em condição distinta. Como, por exemplo, numa aplicação em larga escala onde é priorizado a intercambiabilidade das peças e a

padronização dos componentes ou numa aplicação em baixa escala, que visa priorizar o desenvolvimento da cultura local e aspectos regionais.

### **4.3 Fase 3 – PÓS-DESENVOLVIMENTO**

#### **4.3.1 Análises de Laboratório Creditado**

##### **4.3.1.1 Produto orientado Sistema A**

Os testes do sistema de iluminação desenvolvido nesta pesquisa foi realizado no Instituto para Tecnologia e Desenvolvimento – LACTEC. O instituto é um centro de pesquisa tecnológica sem fins lucrativos que realiza serviços tecnológicos e é associado a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Federação das Indústrias do Paraná (FIEP), a Associação Comercial do Paraná (ACP) e o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP).

O Laboratório de Luminotécnica do instituto é acreditado pela CGCRE / INMETRO segundo a norma NBR ISO/IEC 17025 e Laboratório de referência do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) – Inmetro. Neste laboratório são realizadas as inspeções para os fabricantes das lâmpadas interessados na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia e no selo PROCEL/INMETRO.

Os testes realizados visavam observar a eficiência energética do conjunto em relação ao fluxo luminoso, o desempenho do dissipador de calor presente no produto e as distorções harmônicas do controlador. A figura 4.35 ilustra os testes realizados.

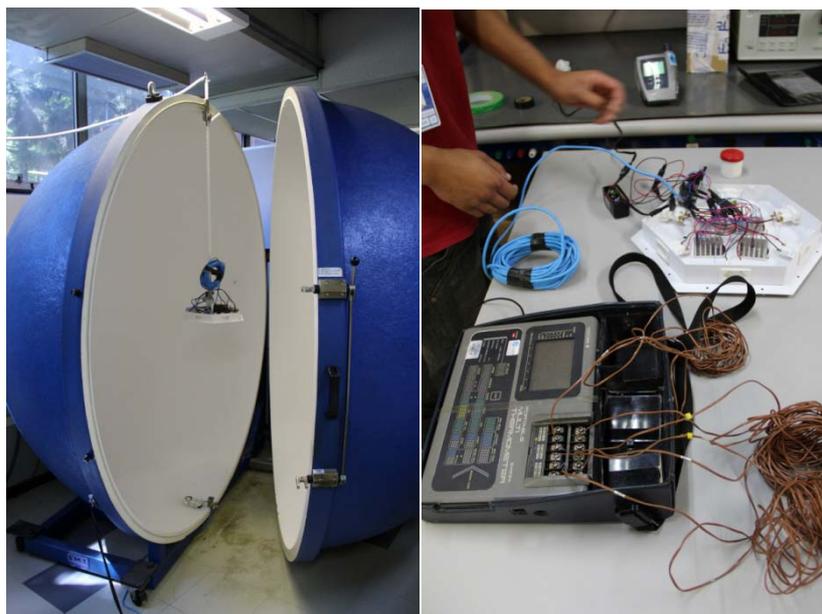


Figura 4. 37: À esquerda, teste na esfera branca para determinação do fluxo luminoso e à direita, teste de temperatura do dissipador.

Os testes seguiram os mesmos procedimentos utilizados para os testes das lâmpadas fluorescentes compactas, devido a ausência de uma normativa para os testes envolvendo sistemas LEDs. O relatório com a descrição dos equipamentos utilizados assim como detalhes da medição estão detalhados no Apêndice 06.

O quadro a seguir apresenta os resultados obtidos com o modelo central sem o uso do difusor acrílico.

Quadro 4. 8: resultados teste laboratório tipo 02

Amostra	Tensão (V)	Corrente (mA)	Fator de Potência	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lumens)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Temp. Cor (K)	Distorção harmônica total (%)
8W+8W 4W+4W	127,03	0,34	0,94	39,38	1091	27,28	3319	36,32
8W+8W	127,06	0,24	0,95	28,61	772	26,98	3436	33,67
4W+4W	127,01	0,1	0,92	11,19	324	28,95	3059	42,46

Através dos resultados foi possível verificar que os LEDs da fabricante Acriche, consomem mais energia do que o divulgado pelo fabricante, cerca de 40% a mais. No entanto, não houve discordância em relação ao fluxo luminoso emitido pelo conjunto de LEDs. Desse modo é possível constatar que o conjunto apresenta baixa eficiência energética, em torno de 27 lm/W, muito abaixo de uma lâmpada FLC que possui média de 60 lm/W. Esse resultado contraria a informação do fabricante que expõe seu produto com eficiência de 65 lm/W (Acriche, 2012).

A temperatura no dissipador do módulo de 8W atingiu a temperatura máxima de 85,1°C. De acordo com o fabricante (Acriche, 2012), esta é uma temperatura muito elevada podendo prejudicar a vida útil do LED. Com relação ao módulo de 4W, a temperatura máxima foi de 60,5°C. Esta temperatura é limite para funcionamento do LED.

Constatou-se, desta forma, que o dissipador estava subdimensionado e que para melhorar o controle térmico do conjunto, torna-se necessário o aumento do volume do dissipador ou criar mecanismos mais eficientes para o controle térmico.

A temperatura na superfície do corpo do produto atingiu a temperatura máxima de 30°C, não sendo considerado um nível elevado. Sendo assim, não há risco de queimaduras durante o manuseio do módulo móvel. De qualquer forma, o redimensionamento do dissipador implicaria na modificação do produto que deve suportar um dissipador maior.

Foram testados dois modelos de difusores. O primeiro deles apresentou uma queda de rendimento de aproximadamente 46% no índice de eficiência energética, equivalente a 14,58 lm/W. O segundo modelo apresentou queda de 15%.

Isso implica que o sistema de iluminação deve levar em consideração uma perda considerável de eficiência causada pelo difusor, podendo resultar em distorções na quantificação de luz para determinado ambiente.

Para contornar a perda de eficiência causada pelo difusor, outras estratégias podem ser adotadas no design do produto como o uso de iluminação por rebatimento com materiais que possuem nível reflexão elevado. Porém, estratégias desse gênero, que mudam profundamente o mecanismo de funcionamento da luz, exigem repensar o produto desde a etapa inicial.

#### **4.3.1.2 Produto orientado Sistema C**

O sistema de iluminação em cerâmica foi também testado no mesmo laboratório do LACTEC. Foram realizados testes de alimentação elétrica com dois drivers diferentes. O primeiro um driver comercializado no mercado modelo LPC 20 -700 e o segundo o driver desenvolvido pelo grupo da engenharia elétrica.

Os testes seguiram os mesmos procedimentos realizados para o modelo anterior, assim como foram utilizados os mesmos equipamentos de medição, como ilustra a figura a seguir.

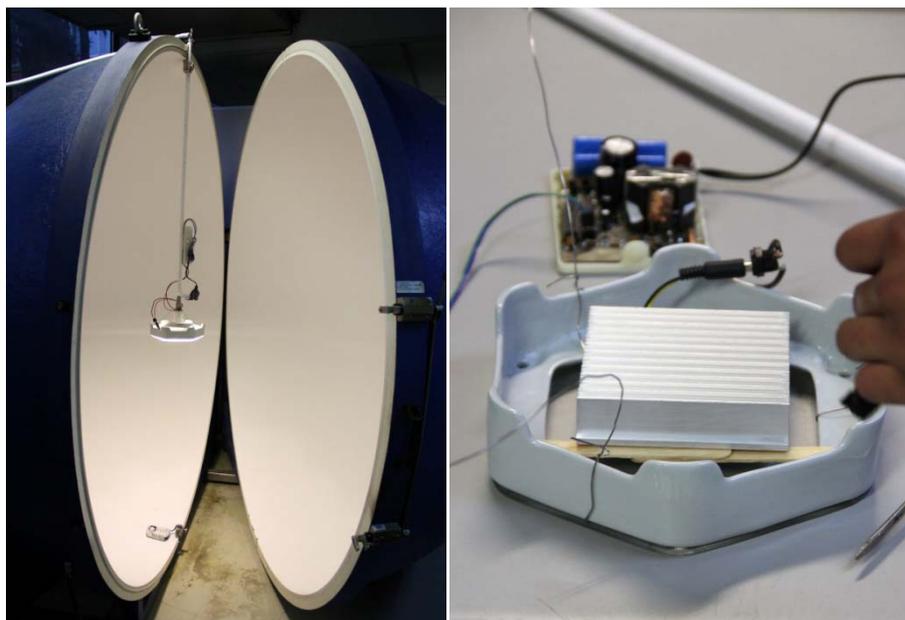


Figura 4. 38: À esquerda teste em esfera branca para determinação do fluxo luminoso, à direita, teste de temperatura do dissipador utilizando o driver desenvolvido durante a pesquisa.

Foram testados dois conjuntos de LEDs sendo um deles com temperatura de cor de 5500K e outro com temperatura de cor de 3000K. Os resultados obtidos apresentados na tabela a seguir foram obtidos com a utilização do driver desenvolvido neste estudo configurado em sua máxima saída de corrente referente a 855 mA.

Quadro 4. 9: Resultados obtidos com uso dos LEDs Nichia e com o driver desenvolvido.

Amostra	Tensão (V)	Corrente (mA)	Fator de Potência	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lumens)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Temp. Cor (K)	Distorção harmônica total (%)
Modulo 1 (5500K)	127,03	0,41	0,53	27,5	1885	68,4	5350	133,6%
Modulo 2 (3000K)	127,06	0,39	0,53	26,5	1486	55,9	3436	131,6%

Foi possível verificar que os LEDs de temperatura mais alta (5000K) apresentaram resultado de eficiência lumínica superior em relação ao LEDs de temperatura mais baixa (3000K). No entanto a eficiência energética do conjunto foi inferior a divulgada pelo fabricante (Nichia, 2012).

A luminária foi testada com uso de um difusor de vidro e, também, sem o seu uso para verificar a perda de eficiência em relação uso deste componente. Para este teste foi utilizado o

driver de mercado e os LEDs com temperatura de cor de 3000K. Os resultados são apresentados a seguir.

Quadro 4. 10: Comparação dos resultados utilizando difusor de vidro.

Amostra	Tensão (V)	Corrente (mA)	Fator de Potência	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lumens)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Temp. Cor (K)	Distorção harmônica total (%)
Sistema com difusor	127,03	0,36	0,52	24,03	1440	60	3140	158,8%
Sistema sem difusor	127,06	0,36	0,51	23,98	1139	47,4	3131	159,2%

É possível observar que o uso do difusor de vidro provoca uma queda do fluxo luminoso e da eficiência energética de aproximadamente 20%.

Os testes de temperatura do difusor foram realizados com o uso de LEDs de 5500K. A temperatura do difusor neste caso varia de acordo com a corrente oferecida para os LEDs. Com uma corrente de 700mA, a temperatura atingiu 66,8°C, enquanto que a 855mA (potência máxima permitida pelo drive) a temperatura atingiu 74°C, após a estabilização do sistema.

Esses resultados indicam que na posição máxima o dissipador ultrapassa o recomendado pelo fabricante (Nichia, 2012). Sendo assim, este deve possuir uma dimensão maior do que a estabelecida neste protótipo com o intuito de preservar a vida útil do conjunto de LEDs

Para o design do produto isto implica que este deve ser redimensionado para incorporar um dissipador maior. Outra forma de contornar essa barreira do controle térmico e de incorporar o dissipador ao corpo do produto, utilizando a massa da luminária como material de dissipação. Contudo, há complexibilidade em estabelecer o nível ideal de temperatura, nesse sentido o uso de software de simulação virtual pode contribuir para encontrar uma solução mais próxima da ideal.

Este sistema LED apresentou desempenho superior ao utilizado no produto A. No entanto, também houve contradição em relação aos dados fornecidos pelo fabricante, neste caso, a discordância foi em relação ao baixo fluxo luminoso. Sendo assim, a eficiência energética do conjunto obteve o resultado de 68 lm/W.

Em relação ao índice harmônico, ambos os drivers obtiveram resultados ruins. No entanto, o driver projetado durante esta pesquisa apresentou resultado superior ao driver comercial.

Em relação a temperatura do dissipador, foi observado que o sistema trabalha acima da temperatura quando está configurado para operar no máximo de sua potência havendo a necessidade de aumentar o dissipador de calor.

### **4.3.2 Teste de Campo: Validação do Produto na Residência do Usuário**

Nesta etapa, o produto foi instalado na residência da família estudada e após 27 dias retornou-se a residência para realização da entrevista semi-estruturada com o usuário (apêndice 03) e observação, sendo realizada por registro fotográfico. O objetivo é verificar o atendimento do produto aos requisitos levantados no projeto informacional a partir do ponto de vista do usuário. Também nesta etapa foram realizadas as medições lumínicas na residência com os novos produtos de iluminação. Importante salientar que antes da instalação, foi realizada uma verificação da rede elétrica da casa para certificar que os LEDs não sofreriam alteração em relação ao seu desempenho. Esta verificação é relatada no Apêndice 4.

#### **4.3.2.1 Produto orientado ao Sistema A**

O sistema de iluminação proposto foi instalado na residência da Sra. Juliana com o objetivo de verificar qual seria o ganho ou perda qualitativa/quantitativa da luz em relação ao modelo anterior de iluminação, baseado nas lâmpadas incandescentes.

A luminária orientada ao sistema A, foi instalada no ambiente sala/cozinha. A escolha por este ambiente deu-se pelo fato deste ser um ambiente multi-funcional apresentando maior variação nas necessidades de iluminação devido a variedade de atividades ali exercidas.

Antes da instalação, foi explicado a Sra. Juliana como funciona o sistema de iluminação e suas capacidades de utilização. Posteriormente, foi solicitado a ela qual seria a configuração desejada para posicionamento do módulo móvel. Ela indicou a direção da pia e fogão, pois estas são as áreas que ela mais utiliza. Um segundo módulo móvel foi entregue a família para que fosse usado nas atividades que houvesse necessidade. A figura a seguir mostra o sistema de iluminação sendo utilizado em ambiente real.



Figura 4. 39: produto em sua fase de uso.

Devido ao fato deste ser um protótipo, com possibilidades de haver danos no produto, foi deixada, em paralelo, a instalação antiga de lâmpada incandescente ainda funcionando. Assim, caso houvesse dano ao protótipo o usuário ainda haveria uma forma de iluminar o ambiente.

A Sra. Juliana disse que não houve dificuldades em usar o produto e que de uma maneira geral houve melhora em relação ao modelo anterior principalmente pelo fato dela poder direcionar a luz para a região que mais precisava. Ela comentou que foi útil principalmente quando o filho dela precisou dormir na sala devido a um machucado no braço. Então ela podia ligar a luz direcionada para pia, sem incomodar o menino que dormia. Com relação a qualidade da luz ela achou agradável e satisfatória, porém preferia uma cor mais fria, denominando essa muito amarelada. Durante o período de uso ela relatou que não sentiu fadiga visual.

Em relação ao uso do módulo móvel, ela não alterou a posição daquele que foi instalado, mantendo-o na configuração escolhida no momento da instalação. Desse modo, não foi aproveitada a flexibilidade que o produto proporcionava.



Figura 4. 40: Módulo móvel em uso.

O outro módulo móvel, que foi deixado para livre uso, foi usado apenas pela Sra. Leonina (avó) e pela filha Jamile como substituição a lâmpada que queimou no quarto. O módulo era conectado a tomada do interruptor na entrada do cômodo. A Figura 4. 40: Módulo móvel em uso. ilustra esta situação. Ao perceber este fato, foi salientado a Sra. Juliana que não é recomendado o uso do produto desta forma, visto ele estava direcionado para cima próximo a altura dos olhos, podendo causar fadiga visual devido a alta intensidade ponto luminoso do LED.

Foi possível verificar que o produto atendeu aos requisitos de suprir as necessidades de contexto do usuário assim como o a regulação da intensidade luminosa. A ampliação da segurança também foi atendida pelo relato de que a Dona Leonina usou o módulo móvel para iluminar o quarto enquanto a lâmpada estava queimada evitando assim algum dano causado pela falta de luz. Porém, o módulo se mostrou pouco seguro no sentido de não haver mecanismo eficiente que impedisse seu uso de forma incorreta.

Após a instalação foram retiradas as medidas lumínicas do ambiente nos pontos próximos ao realizados na primeira medição (com o sistema original). As medições foram realizadas utilizando um luxímetro digital modelo Minipa MLM-101, nos planos de trabalho e na horizontal a 80cm do piso do ambiente, de acordo com a NBR 5382 da ABNT. O resultados são ilustrados no gráfico a seguir e apresentados na tabela seguinte.

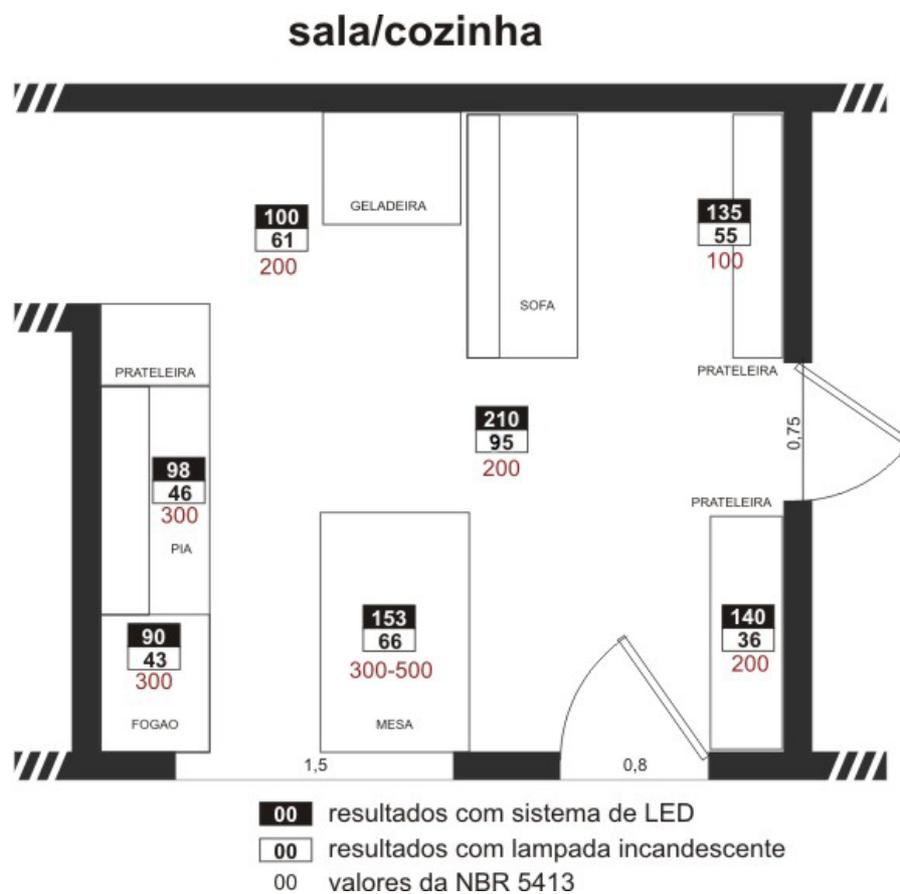


Figura 4. 41: Resultados da medição lumínica do sistema com LEDs de potência, obtidos com todos os módulos ligados.

Quadro 4. 11: Resultados obtidos com o sistema de iluminação com LEDs de potência.

Sala/Cozinha							
Ponto de medição	NBR 5413	Modelo Atual	Módulo Móvel	Posição 4x4	Posição 8x8	Posição 4x4 8x8	Posição todos ligados
Centro	100-200	95	70	30	130	170	210
Mesa	300-500	66	45	18	70	90	153
Fogão	200	43	30	6	28	35	90
Pia	200	46	31	10	30	40	98
Geladeira	200	61	48	9	44	49	100
Sofá	100	55	35	23	74	91	135
Resultados em lux.							

Comparando com resultados anteriores, verificou-se que houve um ganho significativo na região central do ambiente. Os resultados mostram que é possível obter um nível de iluminação fraco ou forte conforme a configuração escolhida.

Embora a luz para região da mesa também tenha melhorado, ela não atingiu o valor mínimo estabelecido pela NBR. Isso implica que para melhorar a iluminação nesta região, é necessário o uso de mais um módulo móvel, direcionado para esta região.

Com relação a região da pia, fogão e geladeira foi possível notar que também não foi atingido o valor mínimo estabelecido pela NBR 5413 embora tenha havido melhora. Isso implica que deve ser necessário o uso de módulos mais potentes para iluminar essa parte do cômodo.

A região do sofá apresentou bom resultado, estando dentro dos padrões da norma e permitindo que o usuário tenha uma iluminação forte ou fraca para assistir televisão.

### **Considerações**

Os componentes utilizados neste produto de iluminação permitiram maior flexibilidade de uso devido a ausência do drive, no entanto essa flexibilidade foi pouco explorada pelo usuário.

O uso da tomada padrão como mecanismo de interface para ligar o módulo, possibilita o desenvolvimento de uma série de soluções que podem ser incorporadas a este sistema de iluminação, porém é preciso criar mecanismos que impessam o uso incorreto do produto.

Alguns melhoramentos no desenho do conjunto devem ser realizados para minimizar o custo de produção e tornar o produto mais acessível para o público de baixa renda.

O corpo do produto pode ser incorporado ao sistema de dissipação de calor, provendo maior eficiência térmica.

As regiões que necessitam de maior intensidade luminosa como da pia, fogão e mesa necessitam de uma iluminação de compensação mais forte. O módulo móvel poderia ser utilizado para estas situações, porém o usuário não sentiu a necessidade de utilizá-lo.

#### **4.3.2.2 Produto orientado ao Sistema C**

O produto orientado ao sistema C, foi instalado na residência da Sra. Juliana com o intuito de verificar qual o ganho ou perda qualitativa/quantitativa em relação ao modelo anterior de iluminação, baseado nas lâmpadas incandescentes.

O artefato foi instalado no quarto 01 da Sra. Juliana a seu pedido. Optou-se por não utilizar o driver desenvolvido porque ele ainda necessitava de alguns ajustes. Desse modo, foi utilizado

o driver comercial com uma saída de 700 mA constante. Da mesma forma que na instalação anterior, foi preservada a instalação original da residência, pois caso o sistema em estudo falhe a Sra. Juliana pode usar lâmpada incandescente novamente. A imagem a seguir mostra a luminária instalada.



Figura 4. 42: produto confeccionado em cerâmica em sua fase de uso.

Como anteriormente, após a instalação foram retiradas as medidas lumínicas do ambiente nos pontos próximos ao realizados na primeira medição (com o sistema de iluminação original), assim como foi utilizado o mesmo modelo de luxímetro.

Quando perguntada sobre o conforto lumínico a Sra. Juliana comentou que a iluminação do quarto ficou muito forte, devido ao fato de que quando ela necessita de algo e tinha alguém dormindo, como o seu filho ou seu marido, eles se sentiam incomodados com a luz. Ela comentou que quando o filho mais novo estava dormindo, ela precisa tampar a o rosto dele para não incomodá-lo. Como ela comentou: “não tem como ficar deitada na cama olhando para cima com a luz ligada”. Devido ao fato de que os pontos de luz que são muito intensos, e causam fadiga visual.

No entanto ela, assim como seu marido que estava presente no momento da entrevista, comentaram que a “qualidade” da luz é boa, sendo melhor que a lâmpada antiga quando precisa limpar o quarto, pois conseguem enxergar melhor as coisas.

O produto não apresentou falha elétrica e até o momento da entrevista estava funcionando normalmente.

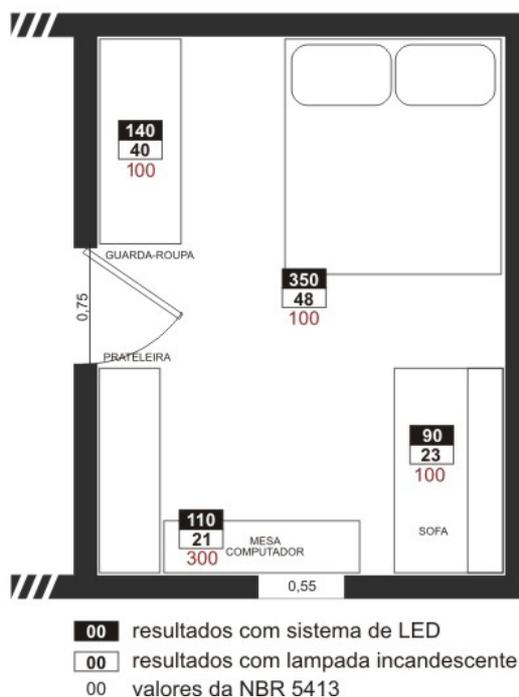


Figura 4. 43: Resultados da medição lumínica do sistema com LEDs de potência, obtidos no quarto 01.

Quadro 4. 12: Resultados obtidos com o sistema de iluminação com LEDs de potência.

Quarto 01 (Casal)			
Ponto de medição	NBR 5413	Modelo Lamp. Inc. (lux)	Modelo Proposto (lux)
Cama	100	40	350
Guarda-Roupa	100-200	48	140
Computador	200	21	110
Sofá	100	23	90

Verificando a tabela e comparando com os resultados da iluminação anterior, houve um ganho expressivo de iluminação no local. Porém, na região central, próximo da cama, o resultado aponta um valor muito alto, indicando excesso de luz. Para o guarda roupa e para o sofá os resultados foram satisfatórios. No entanto, a região onde está localizado o computador, o resultado ficou abaixo do indicado pela NBR. Desse modo só foi percebido que o produto atendeu apenas ao requisito de percepção de status (requisito não relacionado com sua funcionalidade).

## Considerações

Este produto permitiu atender uma gama maior de requisitos do usuário (percepção do consumo e regulagem da intensidade luminosa) porém, sem o uso do driver desenvolvido estes requisitos não puderam ser atendidos.

O excesso de luz apontado no centro do quarto deve-se ao fato de utilizar um driver comercial que estava configurado para trabalhar numa amperagem relativamente alta e a característica do LED de emitir um fecho de luz.

O produto atendeu a requisitos de percepção de status, pois foi comentado durante a entrevista que uma visita ficou encantada e curiosa com o produto. É importante salientar o relato da relação que o aumento da iluminância no quarto proporcionou ao usuário para uma melhora na organização e higienização do quarto.

O quadro 4.14 apresenta os resultados da performance de ambos os produtos em relação ao período de uso na residência do usuário. Esses resultados foram obtidos através da entrevista realizada com o usuário.

Quadro 4. 13: Comparação dos resultados utilizando difusor de vidro.

	<b>Produto A</b>	<b>Produto C</b>
Usabilidade do produto	Facilidade de uso. Porém houve receio do usuário em relação ao uso incorreto do módulo pelas crianças com o risco de danificar o produto.	Facilidade de uso, visto que seu funcionamento era semelhante a sistema convencional.
Segurança no uso	Parcial. Há necessidade de restrição do uso do módulo móvel em local que pode causar danos a saúde dos olhos.	Parcial. Melhoramentos devem ser realizados com relação ao sistema de difusão da luz.
Melhora da condição lumínica (lux)	Sim. Todos os pontos de medição apresentaram melhoras da condição lumínica.	Parcial. Alguns pontos apresentaram iluminação excessiva, além do que consta na NBR.
Melhora da condição qualitativa da luz	Sim	Sim
Aproveitamento das potencialidades do produto	Usuário soube aproveitar a flexibilidade do produto	Não verificado devido a ausência de instalação do <i>driver</i> de controle.
Problema apresentado com o produto durante o período de testes	Sujeira no difusor. Apontando melhora na vedação do difusor com a luminária.	Quebra acidental do difusor pelo usuário.

Foi possível perceber que ambos os produtos, de um modo geral, proporcionaram melhora da condição lumínica da residência, assim como não apresentaram dificuldades de uso por parte do usuário.

Porém, alguns pontos são delicados o correto dimensionamento da luminosidade para cada ocasião, visto que configurações inadequadas podem trazer danos à saúde do residente. Desse modo, a criação de pré-configurações de iluminação de acordo com a atividade realizada pode proporcionar ao usuário a correta condição de iluminação do ambiente. Como exemplo, ao invés da iluminação ser fraca, média ou forte, ela é definida como iluminação para descansar, estudar ou trabalhar.

Alguns problemas foram encontrados em ambos os produtos, apontando necessidades de melhorias. Uma delas é a vedação do conjunto para impedir que insetos atraídos pela geração de calor e luz danifique o produto, diminuindo sua vida útil.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Considerações gerais

Como demonstram os resultados do presente estudo, pode-se dizer que os objetivos definidos para o problema proposto foram atingidos, tendo em vista que foi possível identificar as necessidades de iluminação de uma família de baixa renda assim como viabilizar a prototipagem de dois produtos diferentes orientados por sistemas distintos, que aplicados em campo atenderam a unidade de satisfação estabelecida.

O trabalho para viabilização do produto envolvendo a pequena empresa juntamente com o artesão locais, mostra que é possível no design de sistemas eco-eficientes construir a interação entre os *stakeholders* locais com o intuito de contribuir também com a dimensão social da sustentabilidade, como argumenta Vezzoli (2010). Através da participação desses pequenos atores no sistema, o produto se torna um agente da criação de valor da identidade local assim como amplia o escopo de atuação do artesão que pode transferir sua criatividade para um suporte não propício a sua arte. Assim a geração de renda proporcionada entre os atores em cadeia é apenas uma consequência da configuração do sistema ao atingir seu objetivo final.

O desenvolvimento de produtos orientados a sistemas eco-eficientes permitiram ao projeto de produto desta pesquisa uma grande envergadura de conceituação onde na fase de desenvolvimento do produto foi possível combinar a alta tecnologia, no caso o LED, com a baixa tecnologia do processo cerâmico, trazendo um resultado interessante por integrar, e não substituir, o velho e o novo.

Foi verificado que custo de investimento inicial em um sistema LED é ainda um impeditivo para sua instalação ampla nas habitações de interesse social que são constituídas por famílias de baixa renda. Obviamente, tendo em vista a dificuldade da população de baixa renda em efetuar investimentos com um horizonte de longo prazo, este tipo de investimento provavelmente carecerá de apoio do governo ou das companhias de distribuição de energia elétrica para viabilizar sua implementação no curto prazo. Sob este ponto de vista, a viabilidade do produto através de um serviço de iluminação residencial pode ser uma opção para sua aplicação na baixa renda.

Com o avançar dos estudos verificou-se que a tecnologia LED, mais especificamente os LEDs de potência aplicados a iluminação são tratados como um sistema configurável, possibilitando mais variáveis nos projetos luminotécnicos que as tecnologias atuais, como a possibilidade de configuração de placas eletrônicas e disposição otimizada dos *packagings*. Esta característica exige mais tempo para execução de um projeto, mas pode apresentar resultados mais interessantes. No entanto, isso exige essencialmente o aporte de um grupo de engenharia eletrônica para uma correta definição do sistema de iluminação ao mesmo tempo que exige do designer um conhecimento básico de eletrônica para poder dialogar com a engenharia e explorar com mais vigor as potencialidades que a tecnologia oferece.

A tecnologia LED é um novo modo de pensar o projeto da luz, pois permite a incorporação de dispositivos digitais. É possível dizer que é a migração da “luz analógica” para “luz digital”. Isso representa uma divisão com os modelos tradicionais de pensar projetos luminotécnicos abrindo um campo abrangente a ser explorado ao incorporar outros mecanismos como a eletrônica e a computação, assim como sua integração com automação residencial.

Por um lado este fato é motivador pelas novas possibilidades que se criam, como também preocupante pelo possível efeito-rebote que pode a tecnologia pode causar devido ao seu uso indeterminado, como a iluminação de locais não antes iluminados, assim como a falsa impressão passada ao consumidor de que seu baixo consumo de energia seja sinônimo de tecnologia limpa, sem danos impactos ambientais. Por isso, nesse campo aberto pela tecnologia LED, o design com sua visão sistêmica, tem um importante papel de contribuir ao posicionar-se como uma bússola, indicando direções de um uso mais apropriado e racional da tecnologia contribuindo para um mundo mais sustentável.

A criação de mecanismos para comunicar e tornar visível os benefícios ambientais e econômicos do produto pode propiciar uma melhor compreensão do usuário às questões ambientais durante o tempo de uso do produto. Desta forma, o produto voltado para iluminação que integre e comunique as estratégias do design para a sustentabilidade pode vir a gerar inovações no comportamento do usuário, as quais são cruciais para o desenvolvimento ótimo do potencial de sustentabilidade do sistema.

## **5.2 Considerações sobre o método de pesquisa**

O método associado a esta pesquisa mostrou-se apto a responder as perguntas dentro do escopo proposto, chegando a contribuições para o design de iluminação envolvendo sistemas eco-eficientes.

Mesmo sendo apenas uma amostra pequena (apenas uma família de baixa-renda), a ampla gama de ferramentas utilizadas possibilitaram o aprofundamento do conhecimento das necessidades do usuário de baixa-renda em relação a iluminação, identificando seus requisitos. As medições lumínicas permitiram avaliar quantitativamente a iluminação, enquanto que as ferramentas de entrevista semi-estruturada, mapa de contexto, fluxo de atividades e sonda-cultural permitiram a aproximação com os aspectos qualitativos (alguns deles subjetivos) ligados a iluminação.

Verificou-se na aplicação da técnica paparazzi que a participante demonstrou certa timidez devido ao fato de não saber como manusear a câmera fotográfica e o que deveria exatamente fotografar. Deste modo, percebeu-se a necessidade de exemplificar a atividade, realizando uma breve simulação, o que possibilitou a compreensão da participante e deu base para a continuação da atividade. Entretanto, observou-se que, mesmo após a simulação da prática, a participante ainda apresentou algumas dificuldades para realizar a tarefa sozinha e, por este motivo foi acompanhada e auxiliada enquanto realizava a atividade. No entanto, o ideal para aplicação desta técnica seria o isolamento do participante de modo a lhe proporcionar maior liberdade de decisão, pois a presença do pesquisador pode interferir na sua decisão.

Os testes em laboratório permitiram responder sobre a eficiência energética da tecnologia LED aplicada neste estudo. O *Focus Group* com a Engenharia Elétrica permitiu a condução do estudo de caso fornecendo subsídios para o desenvolvimento das soluções em produtos que estivessem adequadas ao sistema eco-eficiente.

O fato dos procedimentos adotados para esta pesquisa envolver a disponibilidade de muitos participantes tomou muito tempo do pesquisador sendo um limitador dos resultados. Outro fator limitante foi o acesso ao material para construção dos protótipos onde alguns dos componentes de iluminação eram importados. Sendo assim, não havia uma previsão exata de quanto seria possível contar com o material para dar prosseguimento a próxima etapa.

A empresa-alvo não pode participar da etapa de validação do conceito do sistema devido a prioridade desta ao foco do seu negócio, a comercialização dos produtos. A atividade de pesquisa e desenvolvimento foi colcada em segundo plano, visto um possível lucro advindo dos resultados da pesquisa eram de perspectiva de médio-longo prazo no plano de negócios

da empresa. Esse fato também impediu o avanço da pesquisa para uma possível prototipagem dos sistemas vinculados a modelidades de serviço, que poderia trazer resultados complementares para este estudo dentro da perspectiva do design de sistemas produto-serviço.

### **5.3 Recomendações para futuras investigações**

Como continuidade deste trabalho prevê-se o desenvolvimento e prototipagem do serviço ao sistema modelado contemplando assim toda esfera do sistema produto-serviço. Nesse sentido, este estudo pode servir de base para futuras prototipagens de serviços ou de sistemas em situações reais de uso dentro de contextos distintos.

A investigação a respeito do produto e do sistema pode ser continuada com a produção de novos protótipos para uma aplicação mais extensa, de modo a permitir resultados mais amplos e possíveis de generalização de relacionadas iluminação residencial.

O projeto desenvolvido nesta pesquisa pode ser associado a uma pesquisa realizada na Universidade Federal de Juiz de Fora- P&D D-420 “Desenvolvimento de modem PLC para aplicações de telecomunicações e Smart Grids em redes de baixa tensão”. Neste projeto foi desenvolvido o primeiro modem nacional para PLC. A possibilidade de integração dos sistemas eletrônicos digitais das duas pesquisas pode vir potencializar a criação de sistema de iluminação que pode ser controlado de fora da residência. Isso possibilitaria a proposição, por parte do design, de um sistema eco-eficiente aplicado no mundo real, assim como a abertura de novas abordagens sobre tema aqui trabalhado.

O produto desenvolvido neste trabalho abre as portas para aplicação dos níveis de DfSB propostos por Lilley (2010) em análises de campo, de modo a obter dados quantitativos sobre a mudança de comportamento do usuário em relação a iluminação através dos registros de consumo e formas de uso armazenados no driver. É possível trabalhar nos três níveis descritos pela autora como: (a) no eco-feedback, através do desenvolvimento de mecanismos de informação, (b) na tecnologia persuasiva, através de mecanismos que induzem o usuário e (c) na proibitiva, através restrições impostas pelo produto ou sistema.

Em relação ao conforto lumínico o projeto do produto permite a expansão para o design de LED chips que combinem diferentes temperaturas de cor. Os registros do driver podem

possibilitar aplicação de uma sonda cultural para responder a pergunta: Qual a preferência de iluminação quente/ fria dos usuários no período da manhã/ tarde/ noite? Ou qual é a temperatura preferida dos usuários em seu turno de trabalho? Respostas a essas perguntas podem aprofundar o entendimento sobre as preferências de iluminação em determinadas ocasiões, permitindo ao designer configurar um produto com mais exatidão.

## 6 REFERÊNCIAS

ABILUX - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação.

<http://www.abilux.com.br/portal/conjuntura.aspx?id=1>

Acesso em 24 de janeiro de 2012.

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5413 – *Iluminância de interiores*, ABR 1992.

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5382 – *Verificação de Iluminância de interiores*, ABR 1985.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10004. *Classificação dos Resíduos Sólidos* – 2004

ABRAADE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. *Tarifa de Energia*. Junho de 2005.

ACRICHE. SEOUL Semi Conductor.

<http://www.acrich.com/en/product/prd/acriche.asp>

Acesso em 24 de janeiro de 2012.

ALCAMO, Giuseppina. *Illuminazione Naturale e Simulazioni Energetiche*. Centro Abita. Ed. Alinea, Firenze, 2007.

ANEEL. Relatório - *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3º Edição. Brasília, DF 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Relatório Aneel 2011*. Brasília, DF. 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. PLC – *Internet pela Rede Elétrica*.

<http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc/index.cfm>

Acesso em 21 de novembro de 2012.

ANSES - Agência Francesa para Alimentação, Saúde Ambiental e Ocupacional e Segurança *Efeitos sobre a saúde de sistemas de iluminação usando diodos emissores de luz (LED)*.

<http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2248&parentid=523>.

Acesso em 21 de fevereiro de 2012.

BASTOS, Felipe Carlos. *Análise Da Política De Banimento De Lâmpadas Incandescentes Do Mercado Brasileiro*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, Março de 2011.

BERSON, David M.; DUNN, Felice A.; TAKAO, Motoharu. *Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock*. Science, vol. 29 2002

BOYCE, Peter R. *The impact of light in buildings on human health*. 2nd International Conference on Sustainable Healthy Buildings; Seoul, Korea, 2009

BRAINARD, G C; HANIFIN, J P; GREESON, J M; BYRNE, B; GLICKMAN, G; GERNER, E; ROLLAG, M D. *Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor*. The Journal of Neuroscience, pags. 6405-12. August 15, 2001.

BRONZATTI, Luiz Fabricio; NETO, Alfredo Iarozinski. *Matrizes Energéticas No Brasil: Cenário 2010-2030*. 23º Encontro Nacional de Engenharia da Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 2008.

BRUIN, Veralice M. Sales. *Importância Da Melatonina Na Regulação Do Sono E Do Ritmo Circadiano- Uma Abordagem Clínica*. Departamento de Medicina Clínica-UFC. 12 de novembro de 2011.

[http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF\\_SIMP/textos/veralicebruin.htm](http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF_SIMP/textos/veralicebruin.htm)  
Acesso em 4 de abril de 2012

BUSH, Steve. *50 year history of the LED*.

<http://www.electronicweekly.com/Articles/12/10/2012/49501/50-year-history-of-the-LED.htm>

Acesso em 12 de maio de 2012.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior.

<http://www.capes.gov.br/servicos/banco-de-teses>

CHANDRASEKHAR, T.M. *Remediation of Indoor Airborne Mercury Released from Broken Fluorescent Lamps*. Florida Dept. of Environmental Protection, June 15, 2007.

[http://www.dep.state.fl.us/waste/quick\\_topics/publications/shw/mercury/Mercury\\_CFL\\_Dynamics-final.pdf](http://www.dep.state.fl.us/waste/quick_topics/publications/shw/mercury/Mercury_CFL_Dynamics-final.pdf)

Acesso em 24 de março de 2012.

CNI - Confederação Nacional da Indústria - CNI. *Matriz Energética: Cenários, Oportunidades e Desafios*. Brasília, 2007.

[http://environment.about.com/od/greenlivinginyourhome/a/cfl\\_mercury.htm](http://environment.about.com/od/greenlivinginyourhome/a/cfl_mercury.htm)

Acesso em 12 de março de 2012.

COSTA JR, Jairo. *Proposição de um modelo de Referência para o Design de Serviços*

*Ecoeficientes em Sistemas Produto-Serviço*. Dissertação de Mestrado – PPG UFPR, 2012.

DECKER, Kris De. *Viva Las Vegas: LEDs and the energy efficiency paradox*. Low Tech Magazine. Outubro de 2008.

ECKER, Aleverson; CARVALHO, Carolina; JUNIOR, Ranilson Luiz Pellanda; KISTMANN, Virginia. *A Produção De Cerâmica Branca De Mesa E De Decoração De Campo Largo e o Design: Estudo Sobre A Situação Das Micro, Pequenas E Médias Indústrias E As Possibilidades De Desenvolvimento Do Setor Através Do Design*. Universidade Federal do Paraná, 2003.

EDISON TECH CENTER. *Small lights with big potential: light emitting diodes & organic light emitting diodes*. CommercialHistory.

<http://www.edisontechcenter.org/LED.html>

Acesso em 12 de maio de 2012.

ELETRORBRÁS. *Lâmpadas Incandescentes Próximas do Fim*.

<http://www.eletrabras.com/pci/data/Pages/LUMIS8D1AC2E8ITEMIDBF66453F57964E39B174937D70FB108CPTBRIE.htm>

Acesso em 23 de junho de 2011.

ELETROBRÁS a. *Redução Da Energia Elétrica.*

<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?ViewID=%7BEB7EA1A1-360E-40FA-9360-742E53C8C220%7D&params=itemID=%7B311A3F18-A5B1-4C3B-A94B-D6DADA47EF20%7D;&UIPartUID=%7B9E178D3B-9E55-414B-A540-EB790C1DF788%7D>.  
Acesso em 12 de novembro de 2012.

ELETROBRÁS b. *Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações.*

<https://www.eletronbras.com/.../FileDownload.ThrSvc.asp>?  
Acesso em 12 de agosto de 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia. *Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os Próximos 10 anos (2010 – 2020)*. Série Estudos de Energia. Rio de Janeiro, 2011.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. *Energy Star – How are LED lighting products different from other lighting, like fluorescent or incandescent?*

[http://www.energystar.gov/index.cfm?c=lighting.pr\\_what\\_are](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=lighting.pr_what_are).  
Acesso em 09 janeiro de 2012.

EPA/ENERGY STAR - United States Environmental Protection Agency.

[http://www.energystar.gov/index.cfm?c=cfls.pr\\_cfls\\_mercury](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=cfls.pr_cfls_mercury)  
Acesso em 12 de março de 2012.

ERNST YOUNG e FGV. Brasil Sustentável. *Potencialidades do Mercado Habitacional*, 2008

ERNST & YOUNG TERCO b. Brasil Sustentável. *Desafios do Mercado de Energia*, 2011.

ERNST & YOUNG TERCO a. Brasil Sustentável. *Crescimento Econômico e Potencial de Consumo*, 2011.

FARRÁS, Juan Guasch. *Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo - Iluminacion*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales - Subdirección General de Publicaciones - Madrid 1998.

FORCOLINI, Giani. *Iluminazione LED*. Bibliotécnica Hoepli. Secunda Edizione. Milano, 2011.

FREITAS, Irai Borges; FREITAS, Katia Butter Leão. *Fatores Ergonômicos Ambientais*. Ergonomia e Conforto Humano. Páginas 66 a 82 e 81 a 92. Ed. Rio Books, 2011.

GANSLANDT, R.diger; HOFMANN Harald. *Como Planificar con Luz*. ERCO Edicion. Vieveg, 2011

GHISI, Enedir; LAMBERTS Roberto, RORIZ, Maurício et al. *Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações*. Coletânea Habitare - vol. 3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional, 2002.

GIACOMINI, Jucelia. *Diretrizes para o Design de Sistemas Produto-Serviço Voltado ao Trabalho Remoto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2010.

- GIL, Antonio Carlos. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 5ª Edição. Editora Atlas, 2010.
- GLOBAL GARBAGE. *Lixo Perigoso*.  
<http://www.globalgarbage.org/blog/index.php/2010/10/14/lixo-perigoso/>  
 Acesso em 01 de março de 2012.
- GROOM ENERGY. Green Tech Marketing Research.  
<http://www.greentechmedia.com/research/report/enterprise-led-lighting>  
 Acesso em 15 de novembro de 2011.
- GYDESAN, A. and MAIMANN, D. *Life Cycle Analyses Of Integral Compact Fluorescent Lamps Versus Incandescent Lamps – Energy And Emissions*. Proceedings of Right light 1, PP 411-417. Stockholm, Sweden. 1991.
- HALEN, Cees Van; VEZZOLI, Carlo; WIMMER, Robert. *Methodology For Product Service System Innovation. How to develop, clever and competitive strategies in companies*. Van Gorcum, 2005,
- HOWARD, Brian C.; BRINSKY, William J.; LEITMAN, Seth. *Green Lighting. How Energy-Efficient Lighting Can Save You Energy and Money and Reduce Your Carbon Footprint*. Mc Graw Hill, 2011.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Estudos & Pesquisas 7. Brasil, 2010.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas de pobreza*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.  
<http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/glossario/pobreza.html>.  
 Acesso em 23 de setembro de 2011.
- INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética.  
<http://www.inee.org.br/>  
 Acesso em 30 de agosto de 2012
- IIDA, Itiro. *Ergonomia – Projeto e Produção*. Páginas 250 a 269. Ed. Edgard Blucher Ltda, 1993.
- JÉGOU François; MANZINI, Ezio. *Sustainable Everyday: Scenarios of Urban Life*. Edizioni Ambiente, 2003
- KAZAZIAN, Thierry. *Haverá a idade das coisas leves*. Design e Desenvolvimento Sustentável. Editora Senac. São Paulo, 2005
- LILLEY, D. *Designing for Behavioural Change: Reducing the Social Impacts of Product Use Through Design*. Doctoral dissertation. Department of Design and Technology, Loughborough University, Loughborough, 2007.
- LILLEY, Debra. *Design for Sustainable Behaviour: Strategies And Perceptions*. Elsevier, 2009
- LIM, Seong-Rin; KANG, Daniel; OGUNSEITAN, Oladele; SCHOENUNG, Julie M. *Potential environmental impacts of light-emitting diodes (LEDs): metallic resources, toxicity, and hazardous waste classification*. Environmental Science & Technology. Vol. 45. Issue 1. Pages. 320-7. 2011.

LEWIS, Helen; GERTSAKIS, John; GRANT, Tim; MORELLI, Nicola; SWEATMAN, Andrew. Design + Environment. A global guide to designing greener goods. Greenleaf, 2001

LUCCA, A. S. Design Participativo para Valorização da Produção do Território, 2012.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MILLS, Alan. *Phosphors development for LED lighting*.  
The Advanced Semiconductor Magazine. Vol 18 – N° 3 – April 2005

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *O futuro das Lâmpadas – uma ementa governamental*.  
[http://www.mme.gov.br/spe/noticias/lista\\_destaque/destaque\\_0120.html](http://www.mme.gov.br/spe/noticias/lista_destaque/destaque_0120.html).  
Acesso em 15 de novembro de 2011

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Publicação de portarias para incentivar a substituição de lâmpadas incandescentes*.  
[http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista\\_destaque/destaque\\_0384.html](http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista_destaque/destaque_0384.html)  
Matéria publicada em 07 de janeiro de 2011.  
Acesso em 16 de julho de 2011.

NAVARA, K. J., & NELSON, R. J. *The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences*. *Journal of pineal research*, volume 43 (issue 3), 215-24, 2007

NEMA – National Electrical Manufacturers Association.  
*Fluorescent and other Mercury-Containing Lamps and the Environment*. Março 2005.  
<http://www.nema.org/Policy/Environmental-Stewardship/Lamps/Documents/Lamp%20Brochure.pdf>  
Acesso em 12 de março de 2012.

NICHIA Corporation.  
<http://www.nichia.co.jp/en/product/led.html?op=cond=grp5='x19A'>  
Acesso em 2 de agosto de 2012

ONU a- *Sustainable Energy for All*.  
<http://www.sustainableenergyforall.org/objectives/energy-efficiency>  
Acesso em 17 de julho de 2012

ONUb – *Energy for a Sustainable Future*. The Secretary-General's Advisory Group On Energy And Climate Change (AGECC). Summary Report and Recommendations. New York. 28 April 2010

PAPANEK, Victor. *Design for the Real World: Human ecology and social change*. Londres: Thamesand Hudson, 1995.

PAULEY, S. M. *Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue*. *Medical hypotheses*, Vol. 63, Issue4. Pags 588-96, 2004

PEREIRA, Fernando; SOUZA, Marcos B. *Iluminação*. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC - Centro tecnológico. Florianópolis – SC. 2005.

- PIKE RESEARCH. Navigant Consulting, INC.  
<http://www.pikeresearch.com/newsroom/led-lighting-penetration-to-reach-46-of-the-commercial-building-lamp-market-by-2020>  
 Acesso em 15 de setembro de 2011.
- PROCEL. Programa Nacional de Energia Elétrica. *Avaliação do Mercado De Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso*. 2007
- PROCEL/ELETRORÁS. *Resultados PROCEL – Sumário Executivo Ano Base 2010*, 2011.
- QUINTESENCE. *TQ of LED Technology*. EBV Elektronik. Issue 01. 2008.  
<http://www.ebv.com/>  
 Acesso em 20 de setembro de 2011.
- RIO+20. Conferencia das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. *Documento Final da Conferência*. Tema 10. Rio de Janeiro. 22 de junho de 2012.  
<http://www.uncsd2012.org/thefuturewewant.html>.  
 Acesso em 16 de julho de 2012.
- RIO + 20 - *Energia Sustentável para Todos*.  
<http://www.ofuturoquenosqueremos.org.br/energy.php#facts>  
 Acesso em 16 de julho de 2012.
- ROBERTS, Dan . *Artificial Lighting and the Blue Light Hazard - The Facts About Lighting and Vision*. Macular Degeneration Support October 3, 2011  
<http://www.mdsupport.org/library/hazard.html>  
 Acesso em 23 de fevereiro de 2012.
- ROBSON, C. *Real World Research: a resource for social scientists and practitioners*. Oxford:Blackwell, 2002.
- ROZENFELD, H.; FORTELLINI, F. A.; AMARAL, D. C. et al. *Gestão de Desesenvolvimento de Produtos*. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAMPAIO, Jáder dos Reis. *O Maslow Desconhecido: uma revisão de seus principais trabalhos sobre motivação*. São Paulo, v.44, n.1, p.5-16, jan./fev./mar. 2009.  
<http://www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/rausp/v44n1/v44n1a01.pdf>
- SANTOS, Aguinaldo; CAMELO, Dioclécio; DAROS, Carolina et al. *Survey - Relatório: resultado da pesquisa de campo na comunidade Mirante do Iguaçu em Balsa Nova (PR)*. Rede de Pesquisa: Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social. Sub-Projeto 2 – Hábitos de Consumo de Água e Energia. UFPR/FINEP, 2011.
- SECHI, Simone. Le Condizioni per L'illuminazioneNaturaleedArtificialeDegliAmbientiInterni. Páginas 24 a 40. *ArchitetturaBioecologica e InnovazioneTecnologica per L'ambiente*. Ed. Alinea, 2007.
- SHECHTER, A., James; BOIVIN, D. B. *Circadian Rhythms and Shift Working Women*. *Sleep Medicine Clinics*, volume 3, issue 1, 13-24, 2008
- SLACK, N. et al. *Administração da Produção*. 2. ed. Atlas, 2002.

- STEVENSON, Richard. The LED's Dark Secret. August 2009.  
<http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/the-leds-dark-secret/0>  
 Acesso em 13 de maio de 2011.
- TANG, T.; BHAMRA, T. A. Changing Energy Consumption Behaviour Through Sustainable Product Design. 10th International Design Conference. Dubrovnik, Croatia. DESIGN 2008
- TEXTY. *Blue LEDs. A health hazard?*  
<http://texty.com/bright+blue+leds+annoyance+health+risks>  
 Acesso em 8 de junho de 2011.
- TUREK, F. W., & GILLETTE, M. U. *Melatonin, sleep, and circadian rhythms: rationale for development of specific melatonin agonists*. Sleep medicine, volume 5(issue 6), 523-32.(2004)
- TUKKER A., TISCHNER U. *New Business for Old Europe. Product Services, Sustainability and Competitiveness*. Greenleaf Publishers, Sheffield, UK 2006.
- TUKKER, Arnold. *Eight Types Of Product - Service System: Eight Ways To Sustainability?* Experiences From Suspronet. Business Strategy and the Environment Bus. Strat. Env. 13, 246–260, 2004.
- TURNER, P. L.; VAN SOMEREN, E. J. W.; MAINSTER, M. The role of environmental light in sleep and health: effects of ocular aging and cataract surgery. Sleep medicine reviews, 14(4), 269-80, 2010.
- VERDIANI, Olivia. *L'emozione Del colore dellaluce. Illuminazione Naturale e Simulazione Energetiche*. Alines Editrice. Firenze 2007.
- VEZZOLI, Carlo. *Design de Sistemas para Sustentabilidade*. EDUFBA, 2010
- VIÉNOT, Françoise; DURAND, Marie-Lucie; MAHLER, Elodie. *Kruithof's rule revisited using LED illumination*. Journal of Modern Optics. Vol. 56, No. 13, 1433–1446, 2009
- VOCHIN, Alex. *History of LEDs*.  
<http://gadgets.softpedia.com/news/History-of-LEDs-Light-Emitting-Diodes-1487-01.html>  
 Acesso em 12 de maio de 2012.
- WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. Sustainable Consumption Facts and Trends. The Business Role Focus Area. 2008.
- YAM, F. K.; HASSAN, Z. *Innovative Advances in LED technology*. Microelectronics Journal 36. Pág. 129-137. Novembro de 2004.
- YIN, Robert K. Estudo de Caso. *Planejamento e Métodos*. 4ed. Porto Alegre. Bookman, 2010.

## GLOSSÁRIO

### Medidas e Unidades da luz

a) *Fluxo Luminoso -  $\phi$*

É quantidade total de luz emitida por uma fonte de luz por uma unidade de tempo.

Unidade: lúmen (lm)

b) *Intensidade Luminosa - I*

É a intensidade luminosa emitida numa determinada direção: fluxo luminoso emitido por unidade de ângulo numa direção considerada.

Unidade: candela (cd)

c) *Iluminância - E*

É o fluxo luminoso incidindo sobre a área (*lm/área*)

Unidade: lux (lx)

d) *Luminância- L*

É a intensidade luminosa refletida por uma superfície.

Unidade: cd/m<sup>2</sup>

e) *Eficiência Luminosa - hw*

É o quociente entre o fluxo luminoso emitido e a potência empregada.

Unidade: Lumen/watt (*lm/W*)

f) *Densidade de Potência - D*

É a potência total instalada em watt por metro quadrado. Um sistema luminotécnico só é mais eficiente que outro, se, ao apresentar o mesmo nível de iluminância do outro, consumir menos watts por metro quadrado.

Unidade: W/m<sup>2</sup>

g) *Índice de Restituição de Cor - IRC ou Ra*

É o efeito da radiação emitida por uma fonte de luz sobre o aspecto cromático dos objetos que ela ilumina. Tem uma escala qualitativa de 0 a 100, sendo 100 a reprodução da luz natural (do sol). Sendo assim, quanto maior for a diferença entre a aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor será o IRC.

Unidade: escala de 0 a 100

h) *Temperatura de cor (T)*

É a aparência da cor considerada de acordo com a temperatura da cor de corpo negro. A luz com menos de 3000K possui um aspecto “quente” devido a cor acentuada do amarelo, enquanto as lâmpadas acima do 6000K, possuem aspecto “frio” devido a cor azulada.

Unidade: Kelvin (K)

## APÊNDICES

### 01 - Termo de Consentimento

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Declaro, por meio deste termo, que concordei em ser entrevistado(a) na pesquisa de campo referente ao projeto “Desenvolvimento de sistema de produtos e serviços de iluminação com tecnologia LED para Habitação de Interesse Social” desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná. Fui informado(a), ainda, de que a pesquisa é coordenada pelo Prof. Aguinaldo dos Santos, a quem poderei consultar a qualquer momento que julgar necessário por meio do e-mail [asantos@ufpr.br](mailto:asantos@ufpr.br) e/ou do telefone 3360-5313.

Afirmo que aceitei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou ter qualquer ônus e com a finalidade exclusiva de colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado(a) do objetivo estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais, é “estabelecer parâmetros qualitativos e quantitativos acerca do hábito de consumo de água e energia em habitação de interesse social”.

Fui também esclarecido(a) de que os usos das informações por mim oferecidas estão submetidos às normas éticas destinadas à pesquisa envolvendo seres humanos, do Comitê de Ética da Universidade Federal do Paraná.

Reconheço que as informações, imagem e som por mim fornecidos poderão ser utilizados em futuras publicações de cunho científico, em materiais impressos e/ou digitais desenvolvidos pela Universidade Federal do Paraná. Autorizo o seu uso, independentemente do número de exposições e por tempo ilimitado, por quaisquer que sejam os meios de transmissão e tratamentos gráficos e audiovisuais.

Nome completo

---

Assinatura

( ) Entrevistado não alfabetizado (*marcar caso o/a participante não possa assinar*)

Local/Data

Endereço

Telefone:

---

Entrevistador (nome completo e assinatura)

## APÊNDICE 02

### Entrevista Semi-estruturada sobre o uso de iluminação na Habitação

#### A. Caracterização pessoal

1. Nome: \_\_\_\_\_

2. Sexo: ( ) Masculino ( ) Feminino

3. Idade: \_\_\_\_\_

4. Local de nascimento: \_\_\_\_\_

5. Grau de escolaridade: \_\_\_\_\_

6. Atividade profissional: \_\_\_\_\_

7. Renda média familiar: ( ) Mais de 3 salários mínimos ( ) Menos de 3 salários mínimos

8. Composição familiar (especificar quem habita a residência e a idade de cada um dos membros): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

9. Comportamento durante a pesquisa (para observação do pesquisador):  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### B. Caracterização da residência

1. Há quanto tempo habita nesta residência: \_\_\_\_\_

2. Quantos metros quadrados tem sua casa: \_\_\_\_\_

3. Número e descrição dos cômodos: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

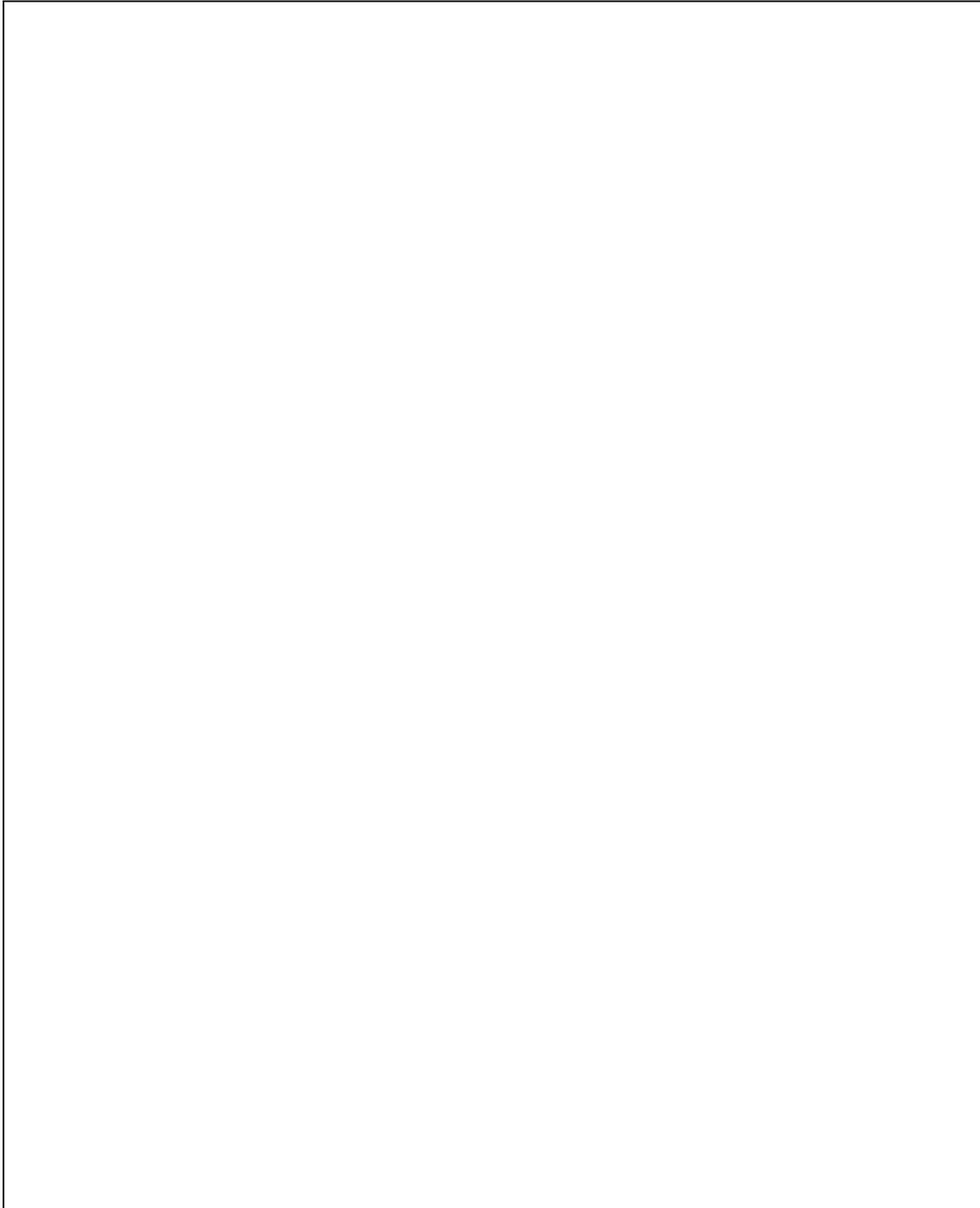
4. Quais eletrodomésticos possui: \_\_\_\_\_

---

---

5. Qual a voltagem da casa: \_\_\_\_\_

6. Planta da casa (especificar número de portas, janelas, localização de lâmpadas, tomadas, abajures, etc.):



--

**C. Caracterização do uso e das necessidades em relação à iluminação**

1. Que tipo de lâmpada você usa em sua casa? Por quê?

---

---

---

2. Por quais motivos você compra esse tipo de lâmpada?

---

---

---

3. São realizadas atividades em alguma parte de sua casa em que precisa de iluminação mais potente (por exemplo: espelho do banheiro, leitura, estudo, costura, crochê, trabalho em casa, etc.)

---

---

---

4. São realizadas atividades em algum ambiente de sua casa em que precisa de menos iluminação (por exemplo: assistir filmes, etc.)

---

---

---

5. Em qual parte de sua casa as lâmpadas ficam acesas por mais tempo? Saberia dizer qual a potência dessas lâmpadas?

---

---

---

6. Fora a lâmpada do teto, você necessita de outras fontes de luz? Para realizar quais atividades?

---

---

---

7. Durante o dia você utiliza somente a iluminação que entra pelas portas e janelas ou você necessita acender alguma lâmpada? Para realizar quais atividades em qual peça da casa?

---

---

---

8. Quem mais gasta luz/energia elétrica na sua casa? Como?

---

---

---

9. As pessoas na sua casa costumam fazer alguma coisa para economizar energia? O quê?

---

---

---

9. O que você faz para iluminar a casa quando acaba a luz?

---

---

---

10. Como você descarta as lâmpadas?

---

---

---

**D. Investigação para o desenvolvimento de sistema**

1. Você ou as pessoas de sua família fazem uso de computador e Internet? Se sim, quais programas você utiliza e qual a frequência de uso?

---

---

---

2. Você ou as pessoas de sua família tem o costume de emprestar, pedir emprestado ou compartilhar, objetos, ferramentas ou eletrodomésticos com os vizinhos? (como por exemplo: objetos de cozinha, furadeira, martelo, ferro de passar, liquidificador, etc.)

---

---

---

3. Você ou as pessoas de sua família tem o costume de consertar as coisas por conta própria ou prefere chamar alguém para consertar?

---

4. Já houve um problema na sua casa para o qual você inventou uma maneira criativa de resolver por conta própria

---

5. Você ou as pessoas de sua família fazem algum tipo de artesanato ou trabalho manual? Conhece alguém que faça dentro da sua comunidade ?

---

## APÊNDICE 03

### Entrevista Semi-Estruturada - Validação do Produto de Iluminação

#### A. Sobre o aspecto geral

- O quanto melhorou a sua iluminação? De 1 a 5, por quê?

---

---

- Quanto você acha que foi fácil de usar? De 1 a 5, por quê?

---

---

- Qual a configuração que você mais utilizou? Por quê?

---

---

- Você teve algum tipo de problema com o produto?

---

---

- O produto apresentou mudança na tonalidade de cor?

---

---

- Em relação a temperatura de cor qual você prefere?

---

---

- O produto chegou a causar ofuscamento?

---

---

- Você chegou a sentir fadiga visual ?

---

---

- A luz chegou a ficar piscando?

---

---

**B. Sobre o aspecto de uso do módulo móvel**

- Você teve dificuldades em utilizar o módulo móvel? Por quê?

---

---

- Para que, geralmente você utilizava?

---

---

- Quem mais utilizava?

---

---

- Na sua opinião, o módulo móvel é mais útil quando está preso ao módulo central ou quando está solto?

---

---

- Você chegou a usar este módulo móvel como iluminação decorativa?

---

---

- No que você achou módulo móvel mais útil?

---

---

- Você chegou a sentir fadiga visual?

---

---

## APÊNDICE 04

### Visita na Residência para Verificação da Parte Elétrica Instalada

Participantes: Henrique Serbena, Professor Ewaldo Mehl e Marcos Brehm

O motivo da realização desta visita era verificar a variação de tensão existente na rede elétrica instalada na casa do Sra. Juliana, pois supõe-se que os LEDs da Seul Semicom – os utilizados para confecção do modelo – sejam danificados pela variação de tensão por não conterem um transformador, o que os torna mais sensíveis, podendo afetar a vida útil do LED.

A recepção foi muito amigável e estavam presentes na casa a Sra. Juliana, sua mãe e seus filhos, juntamente com um primo e sua esposa que moram nas proximidades. Iniciamos explicando para Juliana o que iríamos fazer e porque havia a necessidade das medições. Ela nos deixou a vontade e começamos verificando a rede elétrica a partir do poste instalado pela COPEL (Companhia paranaense de eletricidade). Após verificar as ligações no poste, foi feita uma vistoria em como os fios chegam à residência e dali para a distribuição da iluminação.



Figura 01: Prof. Ewaldo e Marcos Brehm verificando a caixa de luz no poste da Copel.

Figura 02: Caixa de distribuição de energia da residência

Fonte: Projeto LEDHIS (2011)



Figura 02: A esquerda multímetro digital utilizado na medição. À direita Prof. Ewaldo realizando medida da variação de tensão na tomada da cozinha.  
Fonte: Projeto LEDHIS (2011)

A estratégia adotada para esta medição foi a de ser realizada no final do dia, ao anoitecer, pois é quando existe a maior oscilação de voltagem na rede, pois é o horário que as luzes passam a ser acessas assim como é geralmente o horário em que as pessoas chegam em casa do trabalho e passam a realizar atividades em casa como tomar banho, ligar a televisão etc. Durante a medida é também importante verificar a variação da voltagem quando são ligados aparelhos de alta potência na própria residência. Neste caso realizamos a simulação medindo a variação da voltagem ligando a cafeteira elétrica e o chuveiro na posição inverno.

Desse modo foi verificada com o aparelho multímetro digital (LCD marca TES modelo 2360) a variação de tensão da rede, tendo com ponto de medição uma tomada monofásica embutida presente na cozinha.

O quadro abaixo apresenta os resultados:

HORÁRIO	TENSÃO MEDIDA	OBSERVAÇÕES
18:55	125,1 V	
19:10	128,9 V	Chuveiro ligado na posição verão Chuveiro ligado na posição inverno
	119,8 V	
	113,9 V	

19:25	131,7 V	
19:45	129,8 V	
19:55	124,5 V	Cafeteira ligada função filtrar
20:05	128,3 V	Cafeteira ligada função aquecer
20:10	133,8 V	
20:35	127,5 V 113,3 V	Chuveiro ligado na posição inverno

Quadro 01: Resultados obtidos pelo multímetro apresentando a variação de tensão na residência de acordo com os horários e utilização de equipamentos.

Fonte: Projeto LEDHIS

### Considerações

O Professor Ewaldo, assim como Marcos Brehm, constataram que a rede da residência da Sra. Juliana não apresenta problemas em relação à distribuição de energia e que a distribuição nos disjuntores está feita de forma correta (tomadas 20A, iluminação 20A e chuveiro 30A) assim como a ligação feita no poste da COPEL. Apenas o fato da fiação não estar distribuída em tubos dedicados é o ponto negativo. Foi comentado que após a instalação do forro de PVC o acesso a rede elétrica será dificultado. Uma das formas de solucionar esse problema é prever áreas de acesso durante a instalação.

Com relação à variação de tensão na residência tanto o prof. Ewaldo como Marcos se mostraram surpresos com os resultados positivos, pois imaginavam um resultado pior. Segundo eles a tensão que chega a casa da Sra. Juliana é muito boa e do ponto de vista deles não haverá problemas para instalação dos LEDs escolhidos para o teste piloto.

Notamos que a Sra. Juliana instalou mais três lâmpadas incandescentes na residência. Todas elas na parte externa da casa. Um delas localiza no quintal e tem potência de 60W. As outras duas foram instaladas na varanda em substituição a fluorescente, uma delas com 150W e a outra com 60W. Isso representa que a residência aumentou sua possibilidade de consumo em aproximadamente 250W.

## APÊNDICE 05

### Desenvolvimento de Driver de Controle Orientado a um Sistema

Projeto desenvolvido para esta pesquisa em conjunto com o grupo de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, tendo como participantes o aluno João Gustavo Ceschin, orientador o Prof. João Américo Vilela e como co-orientador o Prof. Ewaldo Mehl.

#### RESUMO

O *drive* em desenvolvimento é basicamente uma fonte chaveada com realimentação em corrente que tem como saída uma corrente constante e controlada, própria para alimentação de um conjunto de LEDs. A fonte desenvolvida será composta de uma etapa de potencia com uma etapa de controle microcontrolada, abrindo assim varias possibilidades de futuras aplicações devido a capacidade de leitura de vários sensores e diferentes possibilidades de comunicação.

#### 1 – OBJETIVOS

##### 1.1. Objetivo Geral

Desenvolvimento de um *driver* para LED com saída em corrente, capaz de alimentar um conjunto em série de LEDs mantendo uma saída estável e controlada. O *drive* deve ser capaz de alimentar corretamente toda a estrutura com um elemento adicional básico de *dimmer*.

##### 1.2. Objetivos Específicos

- Baixo consumo para melhor rendimento da luminária;
- Facilitar o manuseio do usuário;
- Desenvolver aplicação estruturada para possível ampliação futura (plataforma);

#### 2 – INTRODUÇÃO

O LED é um componente elétrico feito à partir de semicondutores (tipo de material muito utilizado na eletrônica) que, ao ser alimentado por uma corrente elétrica, emite luz. Este componente, contudo, é polarizado, ou seja, possui um anodo e um catodo, positivo e negativo

respectivamente, e só podem ser alimentados desta maneira, diferente das lâmpadas incandescentes, por exemplo, que por serem apenas uma resistência podem ser ligados de qualquer lado. Vale também ressaltar que o LED é controlado por corrente elétrica, que é gerado por uma tensão elétrica (corrente = tensão / resistência), o que o torna muito suscetível a oscilações desta corrente. As variações da corrente acima da nominal geram variações de luminosidade, redução de vida útil e com o tempo, mudança de temperatura de cor do LED.

Para se ligar um LED em uma alimentação alternada da rede é sempre necessário 2 etapas, uma etapa de potência que vai transformar a tensão da rede em algo que possa alimentar o LED e uma etapa de controle, que vai estar diretamente ligada a etapa de potência e vai ter a função de controlar os valores de conversão para que o LED seja alimentado corretamente. Este módulo é comumente chamado de *drive*, e pode estar ligado em 2 formas básicas de controlador, em malha aberta e malha fechada.

### 3 – JUSTIFICATIVA

Para um sistema LED é essencial pensar em sua alimentação, que não pode ser feita diretamente pela rede elétrica, e necessita de uma etapa de tratamento e adequação do sinal da rede para funcionar. Visto isto, buscou-se uma solução para esta alimentação. Com uma pesquisa de mercado constatou-se que existem 2 tipos de soluções aplicáveis. Uma em que um *chipled* já vem com um componente de potência e outra, que vende *ledpackagins* em separado, que exige o desenvolvimento do driver.

Devido a conveniência de acesso ao produto no mercado, o driver foi desenvolvido tendo como referência o LED da empresa Nichia modelo NVS 219.

### 4 – DESENVOLVIMENTO DO DRIVER

#### 4.1 Conceito geral

O *drive* vai ser adotar um conceito de fonte chaveada, conceito amplamente utilizado em fontes de computador por exemplo.

A fonte chaveada é uma fonte que tem como princípio o chaveamento rápido da corrente em um transformador. Para o desenvolvimento existem 3 etapas principais, a parte de potência, o controle e a realimentação.

A etapa de potencia pode ser considerada como o principio da fonte chaveada, e tem como elementos principais o transformador e o elemento que vai fazer o chaveamento, no caso um MOSFET, tipo de transistor, que pode ser controlado, um diodo e no caso da alimentação ser a partir de uma corrente CA, uma ponte retificadora. O transformador vai ser o elemento que vai armazenar energia durante o período em alta do chaveamento e vai liberar para o circuito quando o sinal estiver em baixa. O MOSFET vai fazer exatamente o chaveamento do transformador em alta velocidade. O diodo vai definir o sentido de passagem da corrente após o transformador para que ele só envie carga ao secundário o ciclo estiver em baixa. A ponte retificadora vai converter a tensão alternada da rede em um tensão positiva pulsante, e se filtrado com um capacitor vai se tornar algo parecido com uma tensão continua.

A etapa de realimentação é basicamente algum sensoriamento que vai acontecer na saída da fonte.

A etapa de controle é onde a saída da fonte vai ser definida, basicamente é um elemento que tem uma referencia como ideal, compara esta referencia ao valor obtido na realimentação, encontra este sinal de erro e controla o chaveamento na parte de potencia de acordo com este erro.

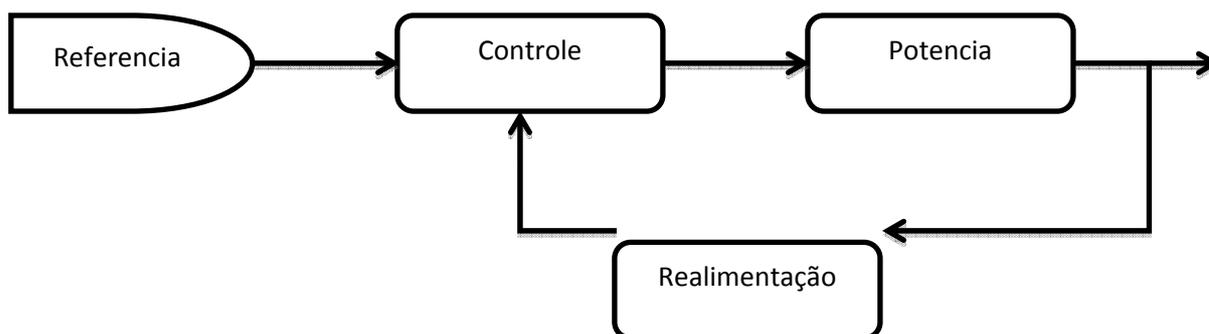


Figura 1 – Conceito fonte chaveada

## 4.2 Estagio de potencia

O estagio de potencia, como descrito no t3pico anterior, 3 um transformador chaveado por um MOSFET, como mostrado na figura 2.

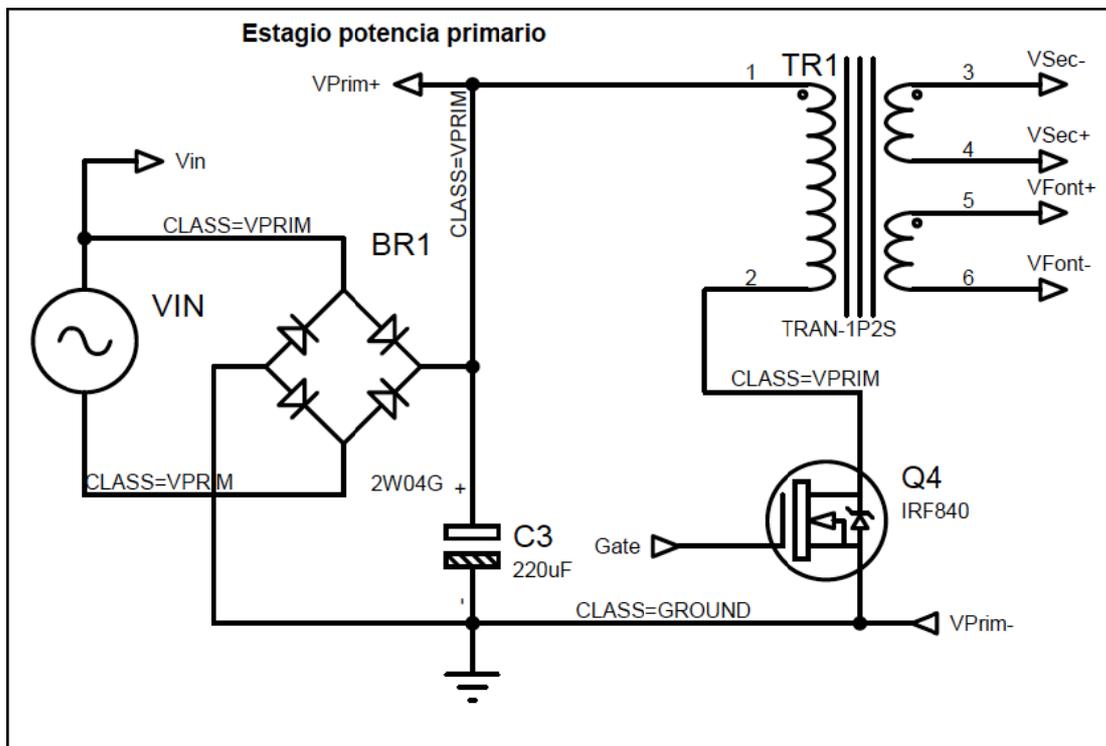


Figura 2 – Estagio de potencia prim3rio

No circuito a fonte ( $V_{in}$ ) representa a alimenta33o da rede, o circuito logo a seguir 3 um retificador de onda completa ligando um capacitor para filtrar o sinal gerado, este 3 o estagio necess3rio apenas para acoplar a fonte na rede alternada.

Podemos observar no esquem3tico de liga33o 2 elementos centrais, o MOSFET, que vai ser respons3vel pelo chaveamento do transformador, e o transformador, que neste caso tem um prim3rio e 2 secund3rios, o prim3rio vai ser realmente a tens3o da fonte que vai alimentar os LEDs e um outro para gerar uma tens3o secund3ria para alimenta33o do circuito de controle.

A liga33o feita ap3s o secund3rio do transformador pode ser observada na figura 3.

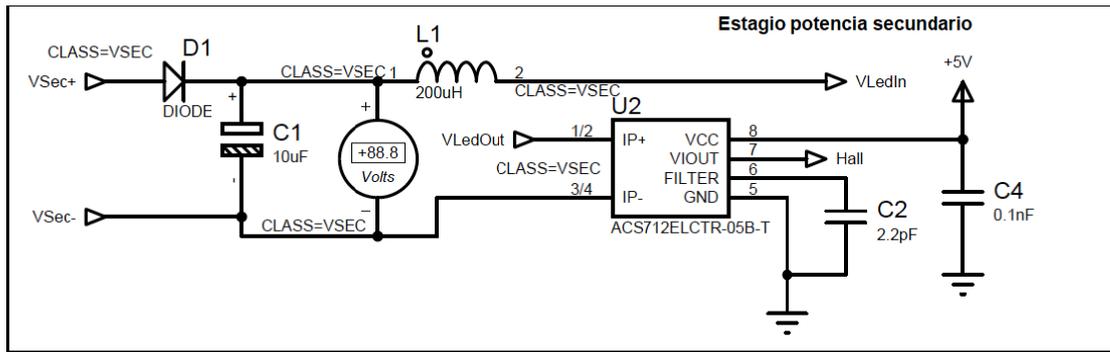


Figura 3 – Estagio de potencia secundário

Aqui podemos observar o diodo, o ultimo elemento central, que vai fazer com que o transformador conduza apenas quando o chaveamento estiver em baixa. O capacitor ligado ao diodo serve para filtrar o sinal e deixar mais linear. Um elemento de teste apenas para verificar a saída em tensão foi adicionado e então é inserido o elemento que vai fazer a conversão de tensão gerada para a corrente necessário do LED, o indutor. Para realimentação o circuito adicionado foi um sensor de corrente por efeito *hall*, que vai dizer posteriormente ao controlador a corrente atual que esta sendo gerada pela fonte para correção de erros, com ele é inserido alguns capacitores apenas para calibragem.

#### 4.3 Realimentação

A etapa de realimentação envolve o circuito que esta no secundário de sensor de corrente e mais um estagio de adequação do sinal para poder ser medido em um microcontrolador. Este estagio de adequação do sinal pode ser entendido na figura 4.

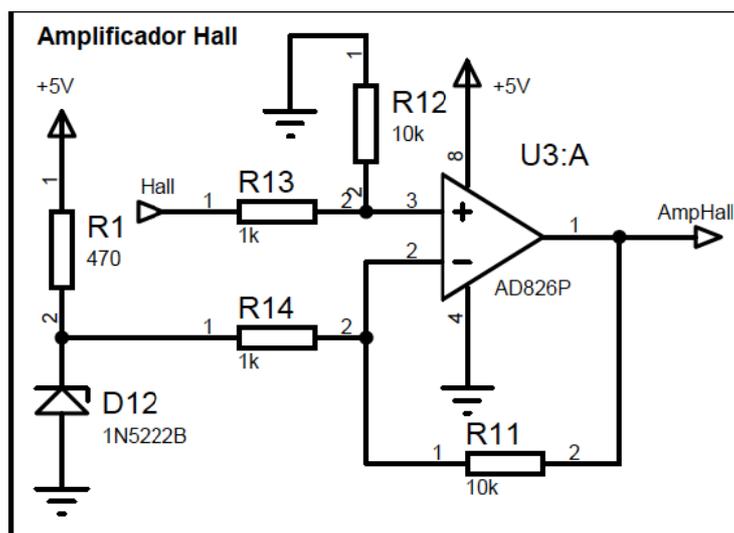


Figura 4 – sinal de realimentação

A função destes componentes é levar o sinal gerado pelo sensor de efeito hall, que é uma tensão de 2,5V para uma corrente de 0A com 185mV/A a um valor de 0V para uma corrente nula e um ganho de 10 vezes no valor da tensão, ou seja, 1,85V/A.

#### 4.4 Controle

O controle vai ser feito por um microcontrolador da Microchip da família 18, que atende a todas as necessidades do projeto e ainda possibilita expansão. O circuito de controle é apresentado na figura 5.

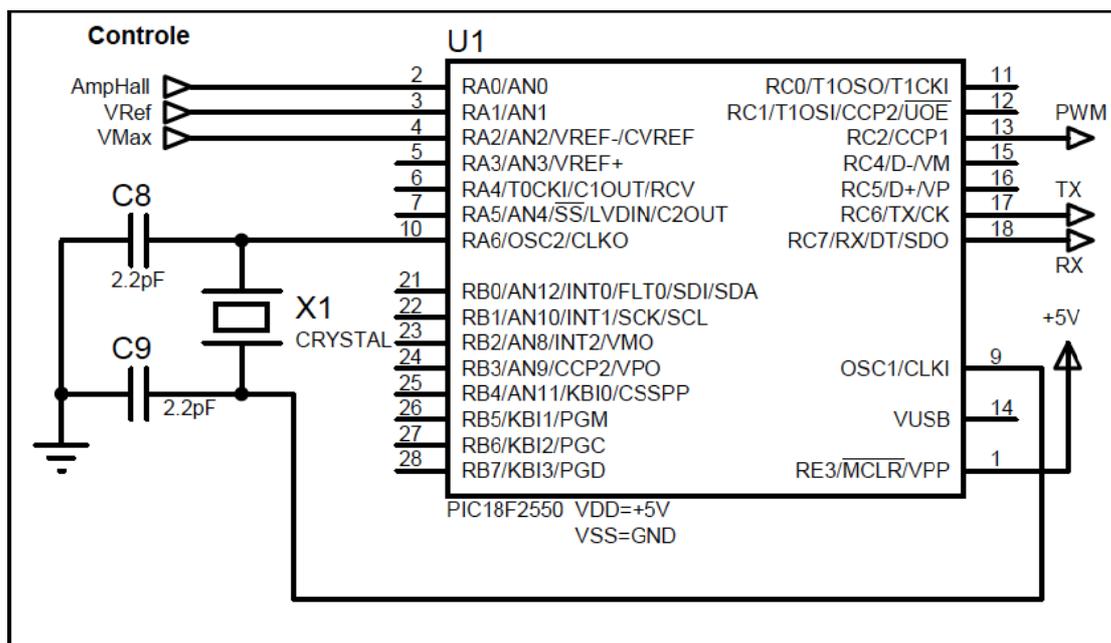


Figura 5 – Circuito do PIC

O microcontrolador aqui é colocado em operação e inserido os elementos de entrada e saída de controle.

Como sinais de referencia para o circuito poder ter a função de *dimmer*, foi inserido um potenciômetro para sinal de referencia absoluto e um outro para definir (de fabrica) um valor máximo, para não deixar que o usuário deixe a luminária clara de mais, estes potenciômetros estão mostrado na figura 6.

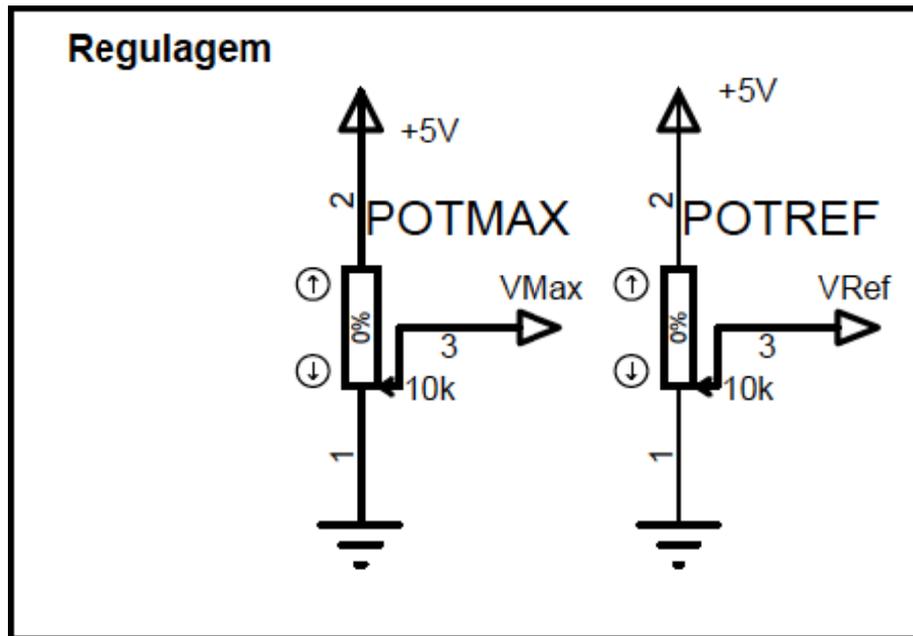


Figura 6 – Potenciômetros de controle

Como a saída do microcontrolador não consegue acionar um MOSFET de potencia, é necessário ainda um outro circuito de acoplamento entre o MOSFET e o PIC, que é descrito na figura 7.

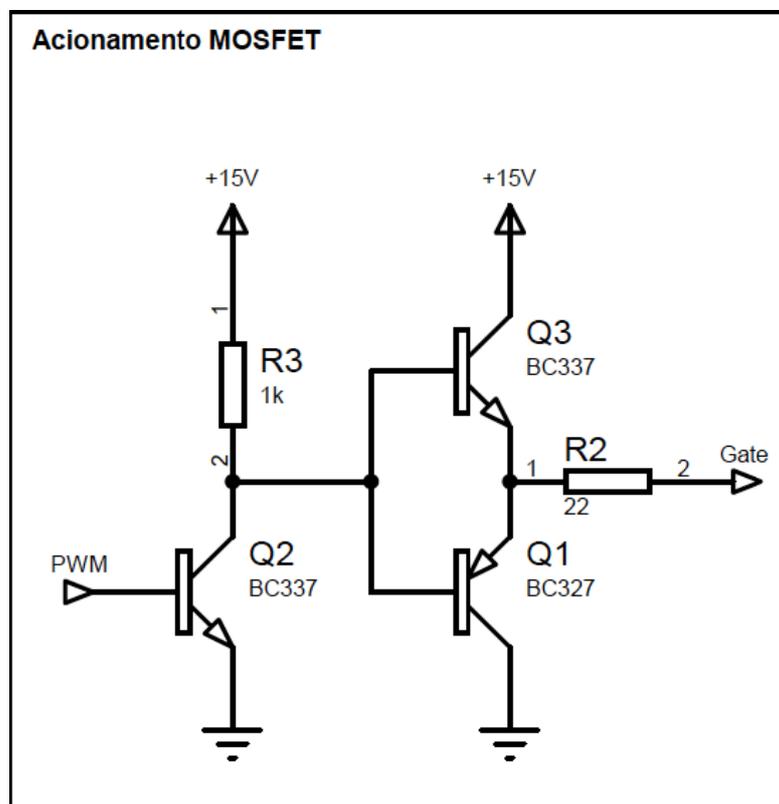


Figura 7 – Acionamento MOSFET

Com estes elementos o circuito de controle foi finalizado.

#### 4.5 Elementos adicionais

Ainda foram adicionados no esquemático do circuito alguns estágios adicionais, como elementos de filtro para a alimentação secundária e circuito de disparo.

##### 4.5.1 Filtro alimentação secundária

A alimentação secundária é instável e como o elemento de regulação pode manter alguns ruídos, é inserido um capacitor na alimentação de cada componente que precise de uma alimentação fixa, como o microcontrolador e o amplificador.

##### 4.5.2 Circuito de disparo

O sistema de alimentação só vai funcionar com o chaveamento do transistor, mas como inicialmente o microcontrolador não tem alimentação, não é gerado nenhum sinal para chavear. A solução deste problema é descrita na figura 8 e funciona com um circuito RC, com um DIAC, ou seja, quando o capacitor chegar a tensão necessária para conduzir o DIAC vai haver um chaveamento, fazendo com que se gere tensão suficiente para o microcontrolador inicie seu funcionamento. O diodo serve para quando o circuito estiver chaveando descarregar o capacitor, sem conduzir o DIAC.

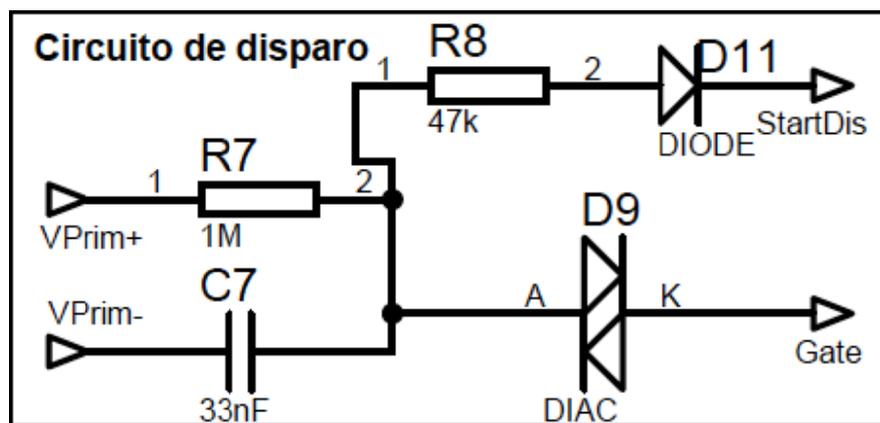


Figura 8 - Circuito de disparo

## 5 – PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Com o esquemático foi gerado um design de placa de circuito impresso, para fazer a montagem efetiva do sistema. A figura 9 descreve como os componentes estão distribuídos e a 10 mostra como as ligações foram feitas.

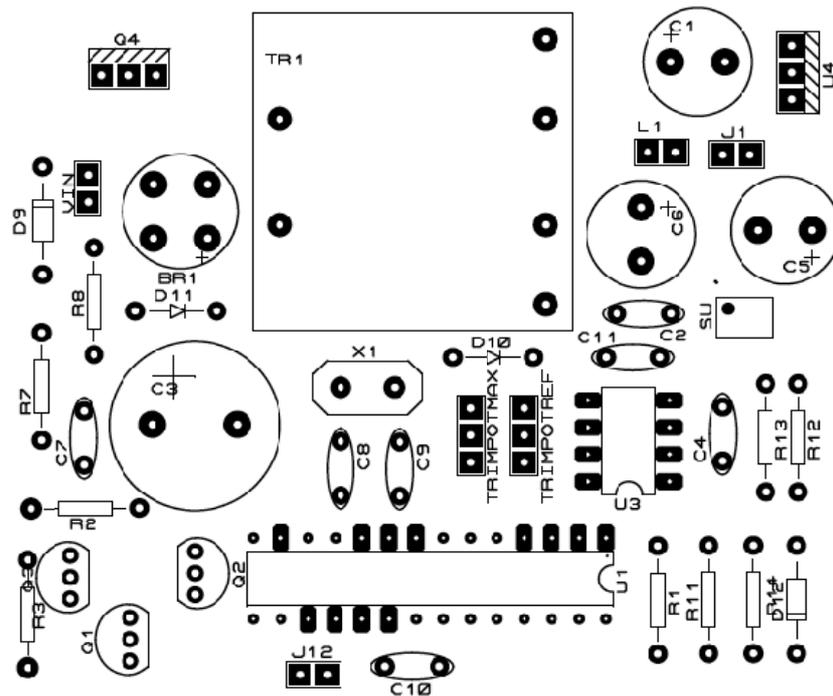


Figura 9 – Silkscreen PCI

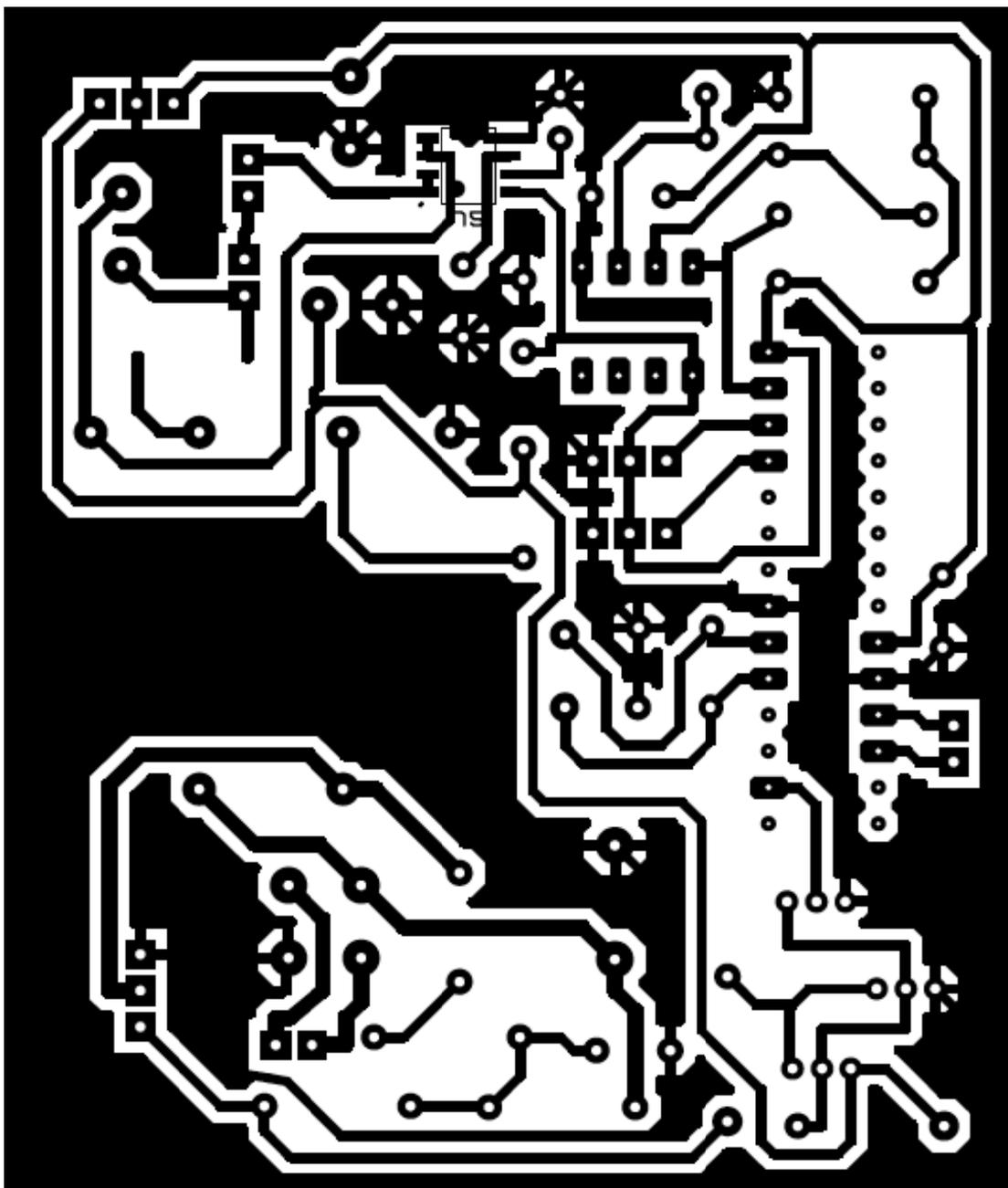


Figura 10 – PCI

Na placa, para melhor funcionamento, foi inserido uma malha de terra, que evita interferências eletromagnéticas.

O protótipo 3D da placa foi feito para verificar como vai ficar, e foi mostrado na figura 11.

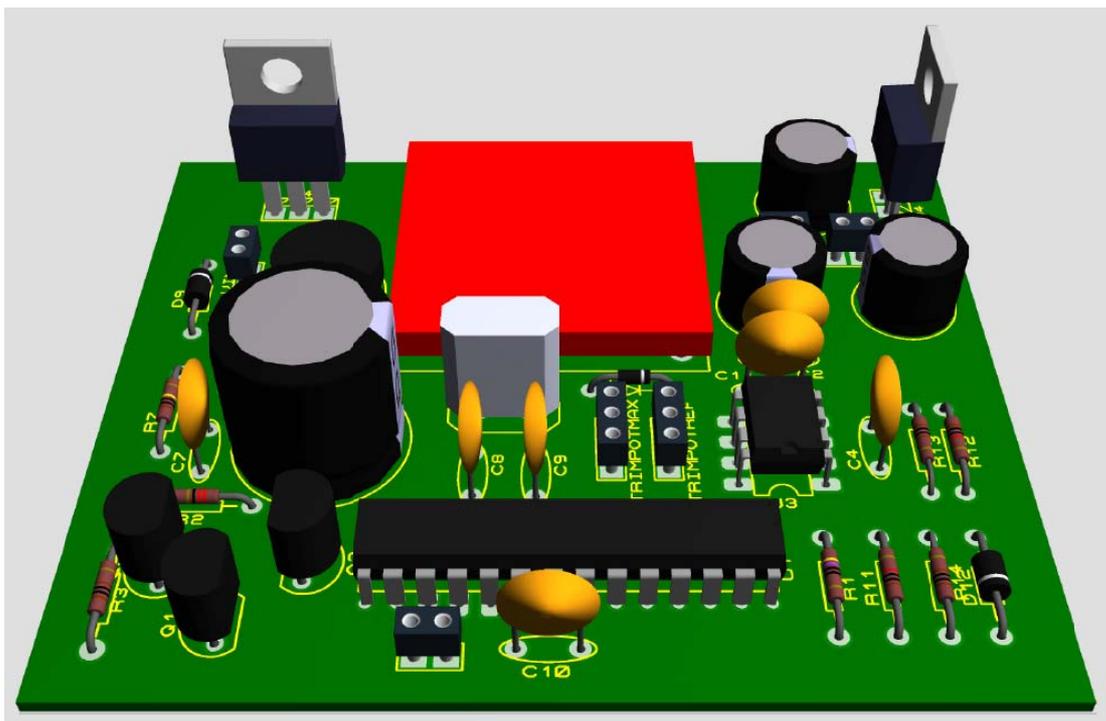


Figura 11 – Modelo 3D

## 6 – RESULTADOS

Como o projeto ainda não foi finalizado, a placa ainda esta em desenvolvimento, com o processo de gerar as trilhas pronto e soldagem dos equipamentos, faltando apenas a montagem dos transformadores.

O projeto foi simulado em computador e gerou os resultados esperados, com os circuitos funcionando e a saída da maneira como se esperava, controlada a partir de um potenciômetro.

## 7– DEFINIÇÕES

- Sistema em malha aberta: Sistema onde é considerado uma entrada e o controlador é feito com base neste valor, desconsiderando o valor realmente gerado na saída. Este processo apresenta alguns problemas de não corrigir variações do valor de saída e entrada, ou seja, ele não sabe se esta realmente correto o que esta acontecendo.

- Sistema em malha fechada: Sistema que tem uma realimentação da saída, ou seja, ele sabe o que esta realmente sendo gerado e tem uma referencia, um valor que seria o ideal para se

gerar, assim ele pode saber se o que ele esta gerando esta realmente correto. Este tipo de funcionamento pode ser visto na figura 12.

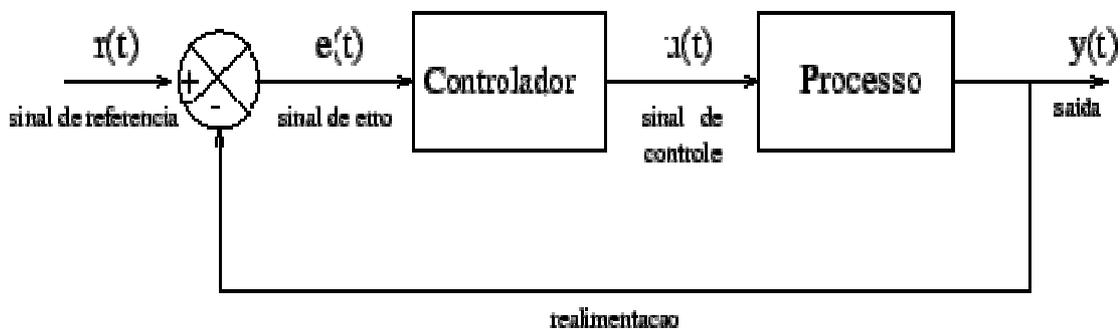


Figura 12 – Controlador em malha fechada

- PWM (*Pulse Width Modulation*): A modulação por variação na largura de pulso é uma técnica utilizada na eletrônica para fazer alguns controles de atuadores. O conceito principal é o de que a saída vai ter um ciclo com um certo tempo, e dentro deste ciclo o sinal vai ficar em alta (positivo) por um certo tempo, e no restante em baixa. Com uma relação em porcentagem (*dutycycle*) por exemplo pode se definir quanto tempo em cada forma o sinal vai ficar, podendo aumentar ou diminuir segundo o controle aplicado pelo usuário.

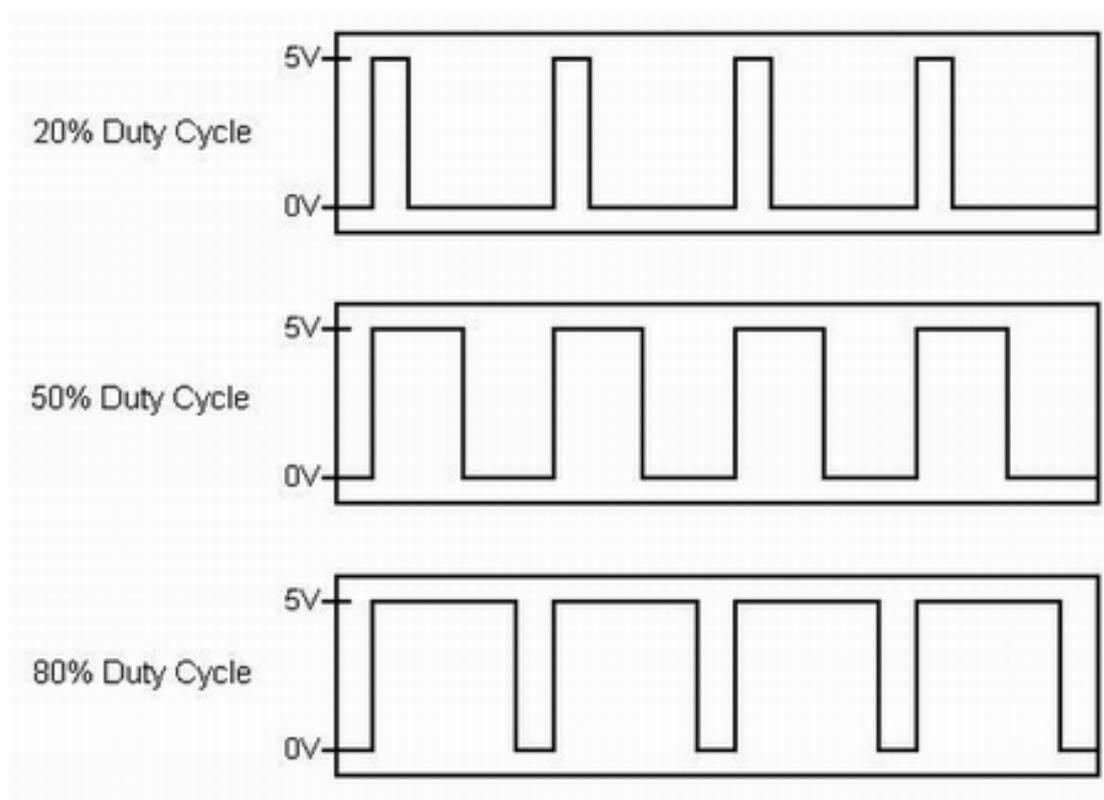


Figura 13 - exemplos de *dutycycles*

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, Mauri Luiz da. LED – A Lux de Novos Projetos. 2012, 1<sup>ª</sup> edição.

BARBI, Ivo. Projeto de Fontes Chaveadas. 1<sup>ª</sup> edição.

## APÊNDICE 06 – Teste no LACTEC

	<b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<small>DOCUMENTO Nº</small> DVEE 1670/2012								
<small>ENDEREÇO</small> Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347 e-mail: <a href="mailto:luminotec@lactec.org.br">luminotec@lactec.org.br</a>	<small>DATA DE EMISSÃO</small> 01/11/2012	<small>PÁGINA</small> 1 de 8									
<b>TÍTULO:</b>	Ensaio em Luminárias a Led.										
<b>OBJETO/ESCOPO:</b>	Verificação de características elétricas e fotométricas em Luminárias a Led.										
<b>ORÇAMENTO:</b>	04213-1										
<b>PEDIDO:</b>	256.855/2012										
<b>SOLICITANTE/DESTINATÁRIO:</b>	FUNDAÇÃO DE ENSINO E ENGENHARIA DE SANTA CATARINA CAMPUS UNIVERSITÁRIO, S/N - CTC CEP: 88040-970 FLORIANÓPOLIS - SC CNPJ: 82.895.327/0001-33 INSC. EST: NÃO CONTRIBUINTE										
<b>NÚMERO DE ANEXOS:</b>	-- 0 --										
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;"><input checked="" type="checkbox"/> <b>EAQ</b> Ensaio e análises qualificados</td> <td style="width: 25%;"><input type="checkbox"/> <b>SET</b> Serviços tecnológicos, consultoria</td> <td style="width: 25%;"><input type="checkbox"/> <b>TRA</b> Transferência de conhecimentos</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> <b>P&amp;D</b> Projetos</td> <td><input type="checkbox"/> <b>OUTROS</b> Especificar:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				<input checked="" type="checkbox"/> <b>EAQ</b> Ensaio e análises qualificados	<input type="checkbox"/> <b>SET</b> Serviços tecnológicos, consultoria	<input type="checkbox"/> <b>TRA</b> Transferência de conhecimentos		<input type="checkbox"/> <b>P&amp;D</b> Projetos	<input type="checkbox"/> <b>OUTROS</b> Especificar:		
<input checked="" type="checkbox"/> <b>EAQ</b> Ensaio e análises qualificados	<input type="checkbox"/> <b>SET</b> Serviços tecnológicos, consultoria	<input type="checkbox"/> <b>TRA</b> Transferência de conhecimentos									
<input type="checkbox"/> <b>P&amp;D</b> Projetos	<input type="checkbox"/> <b>OUTROS</b> Especificar:										
<b>EQUIPE TÉCNICA:</b>  Técnico Leidiane Pereira Souza  Técnico Guilherme Petters de Carvalho  Tecnólogo Fábio Sanada  DVEE	<b>RELATOR:</b>  <div style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">ORIGINAL ASSINADO</div>  Leidiane Pereira Souza DVEE <hr/> <b>REVISOR:</b>  <div style="text-align: center; color: blue; font-weight: bold;">ORIGINAL ASSINADO</div>  Tecnólogo Fábio Sanada  DVEE										

**"Este relatório não é um certificado de conformidade".**  
**"Este relatório se refere somente aos itens ensaiados".**

 <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012	<b>PÁGINA</b> 2 de 8

**ENDEREÇO**  
 Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR  
 Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347  
 e-mail: [luminotecnica@lactec.org.br](mailto:luminotecnica@lactec.org.br)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	Ensaio Realizados .....	3
2.1	Amostras .....	3
2.2	Local.....	4
2.3	Período.....	4
3	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	4
3.1	Características Elétricas .....	4
3.1.1	Equipamentos / Instrumentos Utilizados .....	4
3.1.2	Condições Ambientais .....	4
3.1.3	Procedimento .....	4
3.1.4	Resultados.....	4
3.1.5	Os resultados são apresentados nas tabelas abaixo: .....	4
4	Procedimento Luminária .....	6
4.1	Resultados.....	6
5	Procedimentos Luminária móvel.....	7
5.1.1	Os resultados são descritos na tabela a seguir.....	7
6	CONCLUSÃO .....	8

Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

DOC - 14

Data: Mai/2006

Revisão: 03

Acessar este documento em R:\DDT\DPGT\DVEI\Qualidade\DOCs

 <b>LACTEC</b> <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012	<b>PÁGINA</b> 3 de 8

## 1 INTRODUÇÃO

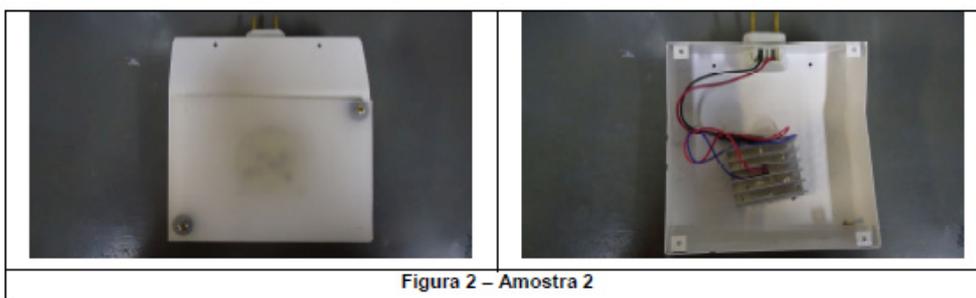
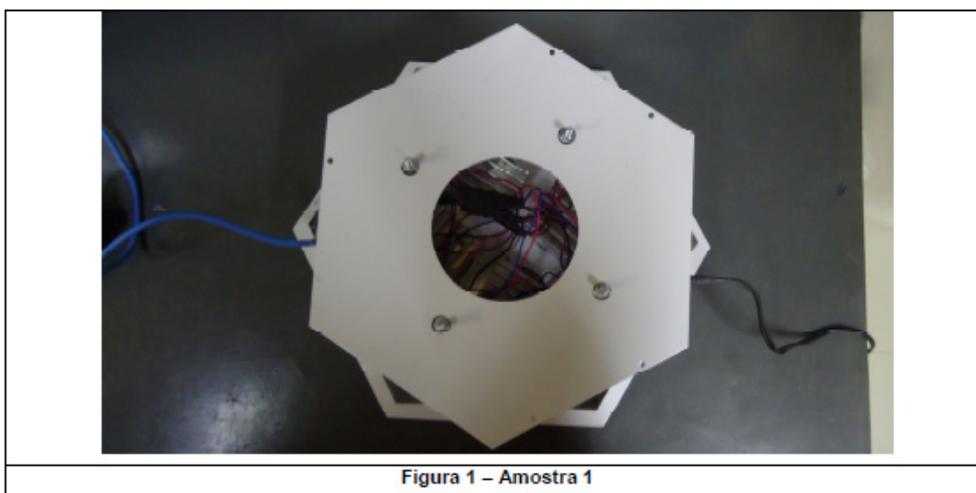
### 2 Ensaios Realizados

O presente relatório descreve a execução dos seguintes ensaios:

- Características elétricas, fotométricas e térmicas.

#### 2.1 Amostras

- 1 amostra de Luminária a Led, amostra 1, figura 1:



Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

 <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012	<b>PÁGINA</b> 4 de 8
<b>ENDEREÇO</b> Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347 e-mail: <a href="mailto:luminotecnica@lactec.org.br">luminotecnica@lactec.org.br</a>		

## 2.2 Local

Laboratório de Luminotécnica do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.  
Centro Politécnico da UFPR – Curitiba – PR.

## 2.3 Período

31 de Outubro de 2012.

## 3 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

### 3.1 Características Elétricas

#### 3.1.1 Equipamentos / Instrumentos Utilizados

- Fonte Eletrônica de Tensão AC NF corporation, modelo P-STATION Q, patrimônio 07961;
- Analisador de Potência Xitron, modelo 2503AH, patrimônio 03705;
- Croma Meter, Konica Minolta, modelo CL 200, patrimônio 10869;
- Esfera Integradora e Fotômetro LMT, modelo U1000, patrimônio 7051;
- Yokogawa Portable Multi Thermometer 2423, patrimonio 13803.

#### 3.1.2 Condições Ambientais

- Temperatura:  $(24 \pm 2)$  °C;
- Umidade relativa do ar: (<65) %.

#### 3.1.3 Procedimento

As amostras foram alimentadas na tensão de 127 Vca e, após período de estabilização com duração de 50 minutos, foram medidos os valores de potência, corrente elétrica, fator de potência, fluxo luminoso, temperatura de cor e distorção harmônica total.

#### 3.1.4 Resultados

#### 3.1.5 Os resultados são apresentados nas tabelas abaixo:

Amostra	Tensão(V)	Corrente (mA)	FP	Potência(W)	Fluxo Luminoso (lm/W)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de Cor (K)	Distorção Harmônica total (%)
Com Difusor	126,98	0,34	0,94	39,98	583	14,58	3058	36,52
Sem Difusor	127,03	0,34	0,94	39,99	1091	27,28	3319	36,32

Tabela 1

Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

 <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012	<b>PÁGINA</b> 5 de 8

### 3.1.6 Apenas módulos de 4 W:

Amostra 1	Tensão(V)	Corrente (mA)	FP	Potência(W)	Fluxo Luminoso (lm/W)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de Cor (K)	Distorção Harmônica total (%)
4W + 4W	127,01	0,1	0,92	11,19	324	28,95	3059	42,46

Tabela 2

### 3.1.7 Apenas módulos de 8 W:

Amostra 1	Tensão(V)	Corrente (mA)	FP	Potência(W)	Fluxo Luminoso (lm/W)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de Cor (K)	Distorção Harmônica total (%)
8W + 8W	127,06	0,24	0,95	28,61	772	26,98	3436	33,67

Tabela 3

### 3.1.8 Luminária móvel 8 W:

Amostra 2	Tensão(V)	Corrente (mA)	FP	Potência(W)	Fluxo Luminoso (lm/W)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de Cor (K)	Distorção Harmônica total (%)
Com Difusor	127,01	0,12	0,95	14,01	356	25,43	3132	33,19
Sem Difusor	127,01	0,12	0,95	14,03	420	29,94	3201	29,94

Tabela 4

Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

 <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>ENDEREÇO</b> Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347 e-mail: luminotecnica@lactec.org.br	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012

#### 4 Procedimento Luminária

As medições foram realizadas por meio de 5 sensores de temperatura fixados em cada dissipador e no centro da luminária conforme figura 3, desta forma a luminária foi ligada em seu modo de operação nominal. Após 50 minutos e estabilização da temperatura nos dissipadores, foram realizadas as coletas de dados.

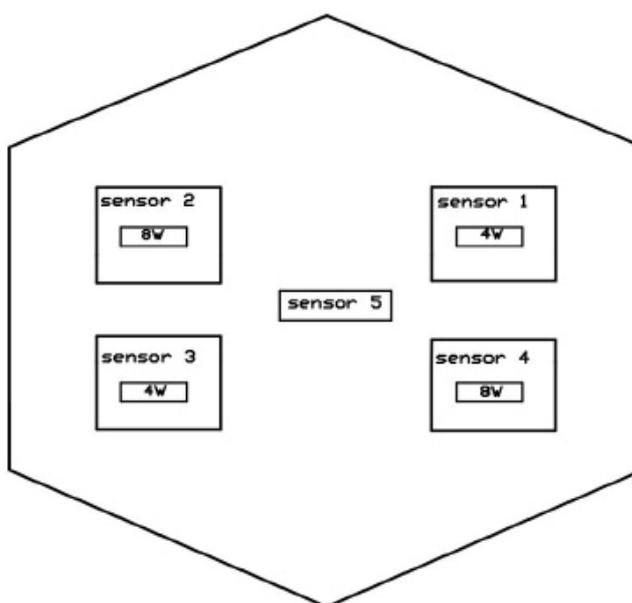


Figura 3.

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Os resultados são descritos na tabela a seguir:

Luminária	Temp. ambiente (C°)	Umidade do ar RH(%)	Sensor 1 (C°)	Sensor 2 (C°)	Sensor 3 (C°)	Sensor 4 (C°)	Sensor 5 (C°)
Inicial	24,3	64	24,8	24,9	24,9	24,7	25
50 min	24,7	61	56,4	83,5	60,5	84,6	53,5

Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

 <b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	<b>DOCUMENTO Nº</b> DVEE 1670/2012
	<b>DATA DE EMISSÃO</b> 01/11/2012	<b>PÁGINA</b> 7 de 8

**ENDEREÇO**  
 Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR  
 Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347  
 e-mail: luminotecnica@lactec.org.br

## 5 Procedimentos Luminária móvel

As medições foram realizadas por meio de 3 sensores de temperatura fixados no dissipador, na Lateral e na parte superior da luminária móvel conforme figura 4, desta forma a luminária foi ligada em seu modo de operação nominal. Após 30 minutos e estabilização da temperatura no dissipador e superfícies, foram realizadas as coletas de dados.

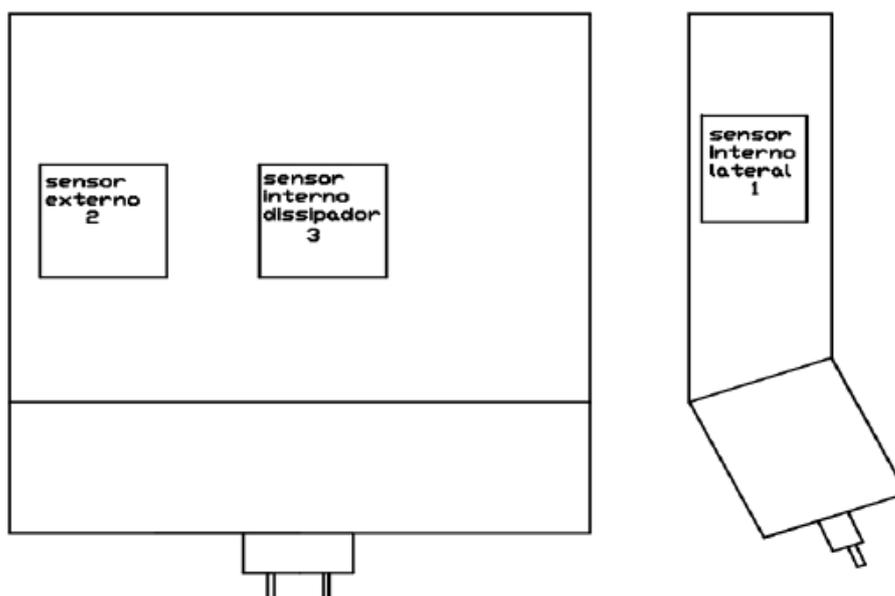


Figura 4.

## 5 Resultados

5.1.1 Os resultados são descritos na tabela a seguir:

Luminária	Temp. ambiente (C°)	Umidade do ar RH (%)	Sensor 1 (C°)	Sensor 2 (C°)	Sensor 3 (C°)
Inicial	24,6	62	24,7	25,1	24,9
30 min	25,36	59	30,8	39,7	85,1

Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC. Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais. Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

	<b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO</b>	<b>RELATÓRIO</b>	DOCUMENTO Nº
			DVEE 1670/2012
<small>ENDERECO</small> Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81530-980 - Curitiba - PR Fone: +55 41 3361-6227 Fax: +55 41 3361-6347 e-mail: <a href="mailto:lum@tecnologia.lactec.org.br">lum@tecnologia.lactec.org.br</a>	<small>DATA DE EMISSÃO</small> 01/11/2012	<small>PÁGINA</small> 8 de 8	

## 6 CONCLUSÃO

A análise dos resultados será feita pelo solicitante deste ensaio, de forma que não cabe ao LACTEC expedir qualquer tipo de consideração acerca da aprovação ou não das amostras.

\* \* \*

## ANEXO

### Entrevista Semi-Estruturada para Aplicação nas Empresas

Questionário estruturado por Giacomini (2010)

Data: \_\_\_\_\_

Local: \_\_\_\_\_

Nome do Entrevistado: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_

#### A) CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO

1. Qual o âmbito de atuação da empresa?
2. Qual o resultado final que a empresa traz para o cliente?
3. Que outras empresas estão no mesmo negócio?
4. Qual a competência central que a empresa tem?
5. Quais são os serviços prestados?
6. Como funciona o serviço prestado pela empresa? Por favor, descreva passo a passo.
7. Dentro do serviço nuclear, quais são os serviços periféricos oferecidos ao cliente?
8. Quais são os serviços mais procurados?
9. Qual o benefício principal que a empresa traz para o cliente por meio desses serviços?
10. Qual o mercado principal e para quê trabalha neste mercado?
11. Como realiza suas operações e onde realiza suas operações/processos?
12. Qual o tempo médio que uma empresa/pessoa costuma utilizar os serviços de escritório?
13. Onde se encontra a área de maior potencial de melhoria para os serviços prestados?
14. Quais foram os principais fatores que levaram a empresa a implementar este tipo de negócio?
15. Quais fornecedores são utilizados/necessários para o funcionamento dos serviços?
16. Existem parcerias de longo prazo com fornecedores?
17. Como funciona o inter-relacionamento com os fornecedores?
18. Os fornecedores têm alguma relação com o desempenho do serviço?

19. Os fornecedores participam da gestão do ciclo de vida do produto?
20. Descreva como é feita a manutenção dos serviços.
21. Existe algum programa de controle de qualidade associado a este serviço?
22. Este negócio é lucrativo?
23. O cliente exerce alguma influência sobre os custos?
24. Em quanto tempo se pode esperar obter o retorno do investimento?
25. Essa solução classifica esse tipo de serviço no mercado em uma posição dominante na cadeia de valor, agora e no futuro?
26. Como funciona na prática a utilização compartilhada de móveis de escritório e eletroeletrônicos?
27. Como é feita a manutenção desses produtos?
28. Qual o critério utilizado para a escolha de determinados produtos e marcas em detrimento de outros?

## **B) MARKETING E GESTÃO DOS FORNECEDORES**

29. Quem utiliza os serviços de escritório? Qual sua principal característica?
30. Quais são seus principais clientes?
31. Quais as dificuldades que podem surgir nesse relacionamento com o consumidor devido à utilização do serviço a curto, médio e longo prazo?
32. Qual a abrangência geográfica da empresa?
33. Quais são os concorrentes?
34. Qual é a principal diferenciação da empresa? De que forma ela se diferencia dos concorrentes (competência central)?
35. Quais são os canais de distribuição/pontos de venda do serviço? descreva como são aplicados?
36. Quem são os principais fornecedores e onde estão localizados?
37. Como é realizada a remuneração dos fornecedores?
38. Por que a empresa integrou o serviço ao produto? Foram identificadas necessidades ou lacunas mercadológicas para que se projetasse esse novo sistema?
39. Como foi divulgada esta estratégia de locação e utilização para o usuário (publicidade e marketing)?
40. Como é o atendimento ao cliente? Possui sistema SAC?
41. Como é composta a equipe de atendimento ao cliente? Quantos funcionários possuem e quais os cargos ocupam?

42. Quando o cliente solicita o serviço como é feito o planejamento? Existem briefings, cronograma ou outro tipo de ferramentas para planejar o processo? Em quais momentos ocorre a participação do usuário no processo de planejamento?
43. Existe monitoramento da satisfação do usuário?
44. Se não houver monitoramento - os usuários fornecem um feedback à empresa? De que forma?
45. Essas sugestões são implementadas?
46. A empresa utiliza serviços personalizados? Há a customização para necessidades específicas? Se sim, descreva como são aplicados?
47. (% No volume total de vendas) há diferenças de custo significativas para os serviços personalizados? Foi necessário modificar a cadeia de prestação de serviços, para possibilitar a personalização?
48. Quais os benefícios dessa personalização de serviços, para a empresa?
49. Quando a empresa passou a adotar esse tipo de personalização do serviço?
50. Quais as principais forças, fraquezas, dificuldades e ameaças enfrentadas pela empresa para a manutenção e fornecimento desse tipo de serviço?
51. Existe alguma forma de avaliação do desempenho da empresa?
52. Como você vê o futuro do relacionamento entre empresa e cliente, e de que forma a empresa está se preparando para esse futuro?
53. Quais são as perspectivas futuras para esse tipo de negócio?
54. Quais os novos produtos/serviços poderiam ser oferecidos para o mercado atual?
55. Como procurar novos mercados para os produtos atuais?
56. Como poderia diversificar o produto em busca de novos mercados?
57. Novos produtos/serviços em sinergia com os existentes para uma nova categoria de clientes
58. Novos produtos/serviços para atuais clientes embora diferentes da atual segmentação da empresa
59. Novos negócios que não tenham sinergia com os produtos/serviços e mercado atuais
60. Descreva como seria esse novo cenário:

### C) SUSTENTABILIDADE

61. O serviço realizado propicia algum benefício ambiental direto? Existe uma política voltada para questões ambientais? (ISO 14001)

62. Quais são os principais materiais e produtos utilizados pela empresa? 63. Como é feita a reutilização ou descarte dos produtos em fim de vida? 64. São reaproveitados (reciclados) os resíduos de materiais? Existe algum desperdício de produtos durante a utilização dos serviços? 65. Há preocupação em minimizar o uso de materiais e energia, em facilitar o desmonte e reciclagem dos produtos?
66. Durante o desenvolvimento do serviço existe algum tipo de preocupação relativa ao seu ciclo de vida dos produtos utilizados?
67. Qual o produto ou componente que tem a maior deficiência no que diz respeito à durabilidade neste serviço?
68. Esse serviço contribui na qualidade do trabalho na cadeia de produção, enriquecendo a vida dos trabalhadores ou dando oportunidades de aprendizagem, promovendo a ação, etc.?
69. Qual a responsabilidade social/ambiental efetivamente percebida pela empresa? 70. Existe alguma exigência ou comportamento por parte do usuário voltado para a ampliação dos aspectos ecoeficientes do sistema?