



**UFSM**

**Dissertação de Mestrado**

**REDE DE ILUMINAÇÃO SEMICONDUTORA  
PARA APLICAÇÃO AUTOMOTIVA**

---

**Murilo Cervi**

**PPGEE**

**SANTA MARIA, RS, BRASIL**

**2005**

# **REDE DE ILUMINAÇÃO SEMICONDUTORA PARA APLICAÇÃO AUTOMOTIVA**

---

por

**Murilo Cervi**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**

**Orientador: Prof. Ricardo Nederson do Prado**

**SANTA MARIA, RS, BRASIL**

**2005**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
Aprova a Dissertação de Mestrado

**REDE DE ILUMINAÇÃO SEMICONDUTORA  
PARA APLICAÇÃO AUTOMOTIVA**

elaborada por  
**Murilo Cervi**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Elétrica**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Ricardo Nederson do Prado (Presidente / Orientador)

---

Alexandre Campos (Co-Orientador)

---

Fernando Soares dos Reis

---

Álysson Raniere Seidel

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

Aos meus pais,  
Antônio Lucídio e Lenir Maria,  
por terem me dado a vida e mostrado como  
vivê-la com amor, honestidade e respeito.

A meus irmãos,  
Jacson Roberto e Fabiano  
pelo apoio e amizade  
incondicionais.

# AGRADECIMENTOS

---

Ao Professor Ricardo Nederson do Prado pelo incentivo, orientação e grande amizade que dele recebi durante o transcorrer deste trabalho e por elevar minha auto-estima sempre que necessário, fazendo acreditar em mim mesmo.

Ao Professor Alexandre Campos pela dedicação na co-orientação neste trabalho e pela amizade desenvolvida no transcorrer desse período.

Aos professores Hélio Leães Hey, Humberto Pinheiro e Hilton Abílio Gründling, pelas valiosas contribuições prestadas na minha formação profissional.

Ao engenheiro Luiz Fernando Guarienti Martins, pela dedicação no auxílio à realização de muitos trabalhos.

À funcionária da pós-graduação Cleonice Oliveira, pelo apoio e suporte.

Aos colegas do GEDRE Tiago Bandeira Marchesan, Douglas Pappis, Álysson Ranieri Seidel, Marco Antônio Dalla Costa, Fábio Ecke Bisogno, Fabrício Egert, Roberto Pereira Silveira, Gustavo Weber Denardin, Marcelo Freitas, Mariano Machado, Rafael Adaime Pinto, Rafael Eduardo da Costa, Rafael Cauduro Dias de Paiva, Rafael Kubiça Pavão, Guilherme de Oliveira, Mario Luiz Landerdahl Jr., Cristiane Gastaldini, Vinícius Flores Guarienti, Jackson Piazza, Tiago Muraro e Lucas de Oliveira, pelo companheirismo, amizade e troca de conhecimentos no decorrer do trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria e à CAPES pelo suporte financeiro.

“Tanto as lágrimas quanto o suor são líquidos e salgados, mas provocam resultados diferentes. As lágrimas atrairão solidariedade, mas o suor lhe trará o progresso.”

***Jesse Jackson***

## RESUMO

---

Esta dissertação descreve o projeto de um sistema de iluminação baseado em fontes luminosas semicondutoras, para aplicação em interiores de ônibus. O sistema é composto por vários terminais de iluminação, sendo alguns deles com propósitos distintos, de acordo com os diferentes sistemas de iluminação interna de um ônibus. Todos os terminais são controlados a partir de um painel de controle central, através da utilização de uma rede com protocolo de comunicação LIN, amplamente utilizado em aplicações automotivas. Essa rede, aliada à utilização de microcontroladores para controle de cada terminal, possibilita o controle total sobre a intensidade luminosa emitida por cada dispositivo, além de diagnosticar falhas no sistema. As características dos dispositivos semicondutores emissores de luz são analisadas, bem como as características dos principais protocolos de comunicação utilizados em aplicações automotivas.



## **ABSTRACT**

---

This work describes the design of a semiconductor lighting system applied to omnibus interiors. The system is composed by several lighting terminals, and some of them have different purpose, once an omnibus has different inside lighting systems. All the terminals are controlled from a central panel, through a Local Interconnect Network, greatly used in automotive applications. This network enables the full control over the light emitted from each terminal and, moreover, it enables the diagnostic over failures on the system. The light emitting semiconductors characteristics are analyzed, as well as the characteristics of the most used communication protocols in automotive applications.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

ACP	Audio Corporate Protocol
CAN	Controler Area Network
D <sup>2</sup> B	Domestic Digital Bus
DSI	Digital Speech Interpolation
GMLAN	General Motors Local Area Network
I <sup>2</sup> C	Inter Integrated Circuit Bus
LCD	Liquid Crystal Display
LDR	Light Dependent Resistor
LED	Light Emitting Diode
LIN	Local Interconnect Network
MML	Mobile Multimedia Link
MOST	Media Oriented System Transport
RGB	Red, Green and Blue
SAE	Society of Automotive Engineers
SCI	Serial Communication Interface
TTCAN	Time Triggered CAN
TTP	Time Triggered Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus

# SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	x
SUMÁRIO.....	xi
INTRODUÇÃO.....	1

## Capítulo 1

<b>ILUMINAÇÃO SEMICONDUTORA.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Características.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Técnicas para Obtenção de Luz Branca.....</b>	<b>9</b>
1.3.1 LED Recoberto por Camada de Fósforo.....	9
1.3.2 LED Ultravioleta.....	10
1.3.3 LED com Comprimento de Onda Próximo ao Ultravioleta.....	11
1.3.4 Conjunto de LED's de Diferentes Cores.....	13
<b>1.4 Eficácia Luminosa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Conclusão.....</b>	<b>17</b>

## Capítulo 2

<b>REDES AUTOMOTIVAS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Classificação dos Protocolos de Comunicação....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Classe A.....	21
2.2.2 Classe B.....	21
2.2.3 Classe C.....	22
2.2.4 Diagnóstico.....	22
2.2.5 <i>Mobile Media</i> .....	22
2.2.6 <i>Safety Bus</i> .....	23
2.2.7 <i>Drive by Wire</i> .....	23
<b>2.3 Considerações Sobre os Protocolos de     Comunicação.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Protocolo de Comunicação CAN.....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Estrutura de Dados Padrão.....	27
2.4.2 Detecção de Erros.....	30
<b>2.5 Protocolo de Comunicação J1850.....</b>	<b>33</b>
2.5.1 Estrutura da Mensagem.....	34
<b>2.6 Protocolo de Comunicação LIN.....</b>	<b>38</b>
2.6.1 Estrutura de um Byte.....	39
2.6.2 Estrutura da Mensagem.....	40
<b>2.7 Conclusão.....</b>	<b>43</b>

## Capítulo 3

<b>DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Generalidades do Sistema.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Escolha dos LED'S Apropriados.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4 Sistema de Acionamento dos LED's.....</b>	<b>50</b>
<b>3.5 Escolha do Transistor.....</b>	<b>52</b>
<b>3.6 Sensor de Luminosidade.....</b>	<b>55</b>
<b>3.7 Escolha dos Microcontroladores.....</b>	<b>57</b>
<b>3.8 Interface Física de Transferência de Dados.....</b>	<b>59</b>
<b>3.9 Controle do Sistema de Iluminação.....</b>	<b>61</b>
3.9.1 Sistemas de Iluminação.....	61
3.9.2 Diagramas de Estados do Sistema.....	63
<b>3.10 Comunicação Através da Rede.....</b>	<b>67</b>
<b>3.11 Programação dos Microcontroladores.....</b>	<b>69</b>
<b>3.12 Conclusão .....</b>	<b>73</b>

## Capítulo 4

<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2 Arranjos de LED'S.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Microcontroladores.....</b>	<b>78</b>
<b>4.4 Mensagens no Barramento LIN.....</b>	<b>80</b>
<b>4.5 Controle da Corrente de Polarização dos LED's... </b>	<b>82</b>

<b>4.6 Conclusão.....</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>89</b>

# INTRODUÇÃO

---

Os seres humanos dependem da luz para o desenvolvimento de praticamente todas as suas atividades. A iluminação artificial, descoberta através da utilização do fogo, é um meio de refúgio encontrado pelo homem para compensar a escuridão da noite.

A partir daí, foram efetuadas várias pesquisas com relação às fontes de iluminação artificial, e as descobertas chegaram à utilização da energia elétrica como forma de se obter luz, no início do século XVIII, através de uma máquina de descarga incandescente em um vácuo imperfeito, embora a lâmpada incandescente tenha sido inventada apenas no ano de 1879, por Thomas Edison (Harris, 1993).

Os estudos para se obter uma fonte luminosa que apresentasse maior eficácia continuaram, surgindo as lâmpadas fluorescentes tubulares, no período pós-guerra, e continuam até os dias de hoje, com a descoberta de fontes luminosas que não irradiam calor, fontes com formatos variados ou tamanhos reduzidos, que se adaptam perfeitamente à determinadas aplicações.

A iluminação artificial é responsável pelo consumo de cerca de 25% de toda a energia elétrica gerada no mundo atual, o que torna ainda mais importantes as pesquisas por novas fontes de iluminação e sistemas de controle que apresentem maior eficiência energética.

Porém, as necessidades do homem moderno não são as mesmas apresentadas pelo homem pré-histórico, e as exigências por uma iluminação de qualidade são cada vez maiores.

Valores como temperatura de cor e índice de reprodução de cores são bem conhecidos pelos pesquisadores da área de iluminação, pois cada ambiente requer uma iluminação diferenciada, normalmente prevista em normas específicas para cada aplicação. Na maioria dos ambientes iluminados por fontes artificiais, o índice

de reprodução de cores é muito importante, para evitar falhas na percepção de uma pintura, por exemplo, ou até mesmo da qualidade de alimentos.

As pesquisas por fontes alternativas de iluminação continuam até hoje, e no final da década de 90 surgiu o interesse de pesquisadores por dispositivos semicondutores emissores de luz.

Os LED's existentes até então eram utilizados apenas como forma de sinalização, por apresentarem intensidades luminosas muito baixas, além de não se conhecer uma técnica para obtenção de feixe luminoso de cor branca a partir desses dispositivos.

O que motivou o estudo de diferentes técnicas para obtenção de luz branca a partir da utilização de LED's, além de sistemas de alimentação e controle desses dispositivos, foi a descoberta de um LED emissor de feixe luminoso branco com intensidade luminosa relativamente alta, quando comparada à intensidade apresentada pelos LED's existentes até então.

A aplicação dos LED's deixou de ser apenas como forma de sinalização em aparelhos eletrônicos e passou-se a estudar sua aplicação em sistemas de iluminação.

Paralelamente ao estudo das fontes de iluminação, há o estudo de sistemas de acionamento e controle destas, pois a qualidade da iluminação e a eficiência energética apresentada são um resultado do conjunto todo, e não apenas do sistema ou da fonte luminosa. No caso de lâmpadas fluorescentes, por exemplo, a troca de reatores eletromagnéticos por eletrônicos resulta em um ganho de eficiência luminosa que pode chegar a até 25%, se considerado o conjunto reator mais lâmpada, segundo Hammer (1987).

A utilização de sistemas eletrônicos tem se tornado cada vez maior, possibilitando o controle total sobre as fontes luminosas. Com a inserção desses sistemas no mercado, passou-se a trabalhar cada vez mais com microcontroladores, que proporcionam sistemas de iluminação inteligentes e versáteis.

Os sistemas eletrônicos de acionamento e controle de fontes luminosas já estão inseridos no mercado atual, e a utilização de microcontroladores para controle desses sistemas já é uma realidade.

A partir daí, considera-se a utilização de redes de comunicação entre os sistemas de iluminação, principalmente em ambientes amplos, que necessitam de muitos sistemas individuais para acionamento de toda a iluminação, como em



pavilhões, corredores ou na iluminação pública. O estabelecimento de uma rede de comunicação nesses sistemas possibilita a troca de informações entre todos os dispositivos, proporcionando um controle geral de todo o sistema e uma iluminação de forma mais inteligente.

No caso de iluminação pública, por exemplo, a redução do número de lâmpadas acionadas em determinada hora da noite, ou do nível de luminosidade proveniente dessas lâmpadas, pode resultar em uma redução considerável do consumo de energia elétrica.

Em veículos de transporte coletivo não é diferente. Os veículos mais modernos presentes no mercado apresentam redes de comunicação entre praticamente todos os sistemas eletrônicos, possibilitando o controle de cada um desses sistemas a partir de um único painel de comando central, além de facilitar a identificação e correção de falhas nos dispositivos.

Ainda, com todos os sistemas eletrônicos embarcados ligados a uma rede de comunicação central, o cabeamento presente em um veículo é reduzido drasticamente, bem como os custos envolvidos no desenvolvimento de chicotes elétricos e circuitos de proteção para cada sistema, uma vez que a rede de comunicação efetua verificação de erros, possibilitando que um sistema com falhas seja desabilitado automaticamente.

Este trabalho traz a proposta de um sistema inteligente de iluminação embarcada para aplicação em interiores de ônibus. O sistema é baseado em dispositivos de iluminação semicondutora e microcontroladores, para o estabelecimento de uma rede de comunicação entre os terminais de iluminação e um painel de controle central.

A proposta trata de um sistema de acionamento de LED's brancos de alta intensidade luminosa, controlados através de uma rede de comunicação estabelecida com o uso dos protocolos de comunicação mais difundidos no mundo, em se tratando de aplicações automotivas.

O capítulo 1 traz uma revisão sobre os dispositivos semicondutores utilizados para iluminação, com suas principais características físicas, elétricas e luminosas. Ainda, são abordadas as principais técnicas utilizadas na obtenção de um feixe luminoso branco.

No capítulo 2 são apresentados alguns protocolos de comunicação utilizados em aplicações automotivas. Este capítulo traz ainda uma descrição detalhada do

funcionamento dos principais protocolos utilizados na atualidade, desde a taxa de transmissão de dados apresentada até as estruturas de mensagens utilizadas para efetuar comunicação, proporcionando um esclarecimento com relação à forma de transferência de dados utilizada a partir de um protocolo de comunicação.

O capítulo 3 descreve o funcionamento do sistema proposto através da utilização de diagramas descritivos e fluxogramas, utilizados como base na programação dos microcontroladores. O capítulo descreve a operacionalidade do sistema, bem como a escolha dos componentes utilizados na confecção do mesmo, como descrição dos LED's e microcontroladores utilizados.

O capítulo 4 mostra alguns resultados experimentais, obtidos a partir da utilização dos LED's, controlando-se a intensidade luminosa destes através do controle de sua corrente de polarização direta. Ainda, é efetuada uma comparação da luminosidade obtida a partir da utilização dos arranjos de LED's com a luminosidade proveniente de uma lâmpada de filamento incandescente, em igualdades de condições. Além disso, algumas mensagens enviadas através do barramento da rede implementada são analisadas, de forma a verificar a comunicação entre os terminais e comprovar a operação do sistema.

# ILUMINAÇÃO SEMICONDUTORA

---

## 1.1 Introdução

A busca por novas fontes de iluminação é constante, e a medida que vão sendo descobertas novas técnicas para obtenção de luz, obtêm-se fontes luminosas com diferentes características, sendo que cada uma dessas fontes se adapta melhor a uma determinada aplicação.

Seja com relação ao rendimento luminoso apresentado, pela robustez ou pela qualidade da luz emitida, cada fonte luminosa é aperfeiçoada de forma a atingir uma gama cada vez maior de aplicações. Algumas fontes luminosas, em plena fase de otimização, podem vir a substituir em breve as lâmpadas de filamento, utilizadas atualmente com os mais diversos propósitos.

Neste capítulo são apresentadas as principais características dos dispositivos de iluminação semicondutora existentes no mercado, sejam elas elétricas, físicas ou luminosas, além das técnicas mais difundidas na literatura para obtenção de luz branca a partir desses dispositivos.

Assim, pode-se optar pelo componente que mais se adapta a cada aplicação específica, além de tornar possível uma comparação com outras fontes luminosas dedicadas a tal aplicação.

## 1.2 Características

Dispositivos de iluminação semicondutora são diodos emissores de luz, ou LED's (*Light emitting diode*). Suas características se assemelham às de um diodo qualquer, sendo que a principal diferença entre eles está na capacidade que os LED's apresentam de emitir luz, quando polarizados diretamente.

Esse feixe luminoso é monocromático, e produzido a partir da excitação de um cristal semiconductor, sendo que o comprimento de onda emitido pode variar de forma a se obter qualquer cor no espectro, ou seja, um determinado LED é capaz de emitir luz vermelha sem a necessidade de utilização de um filtro colorido para tal. Da mesma forma, um LED amarelo emite luz amarela, e assim por diante, para qualquer cor no espectro. A figura 1.1 mostra um espectro luminoso, com as diferentes cores visíveis e os respectivos comprimentos de onda, de forma a auxiliar o entendimento deste capítulo.

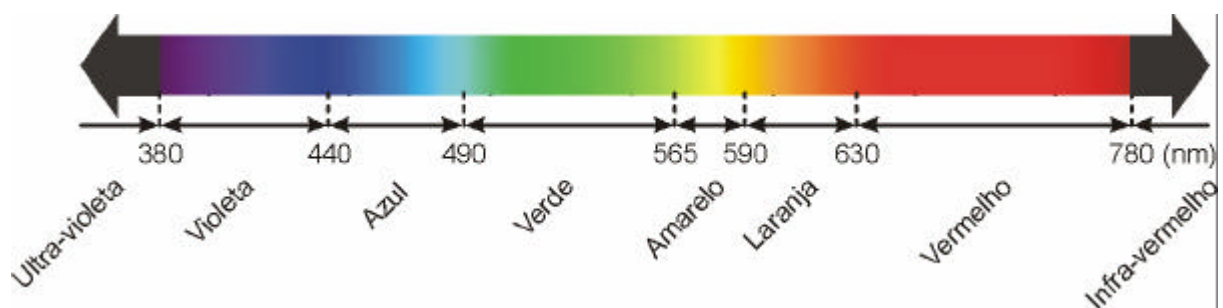


Figura 1.1 – Espectro luminoso.

O comprimento de onda resultante da excitação do cristal de um LED é determinado pelos elementos químicos utilizados na dopagem da região de *bandgap* desse cristal semiconductor. Alguns elementos comumente utilizados nessa dopagem são gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio, e a alteração da mistura desses elementos, ou da relação dessa mistura, altera o comprimento de onda da luz emitida (Denbaars, 1997).

Alguns exemplos de misturas são InGaN, utilizada em LED's emissores de feixe luminoso azul ou verde, de acordo com a relação desses componentes, e AlInGaP, utilizada em LED's emissores de feixe vermelho, alaranjado ou amarelo, dependendo da relação utilizada na mistura desses componentes.

A energia necessária para que haja fluxo de elétrons através da região de depleção varia de uma composição química para outra, pelo fato de que os elétrons dentro dos átomos mudam de estado de um nível de energia relativamente alto (órbita atômica) para um nível mais baixo, e cerca de 80% dessa energia perdida é convertida em luz.

O comprimento de onda resultante corresponde a essa variação do nível de energia, e por isso LED's azuis, de comprimento de onda pequeno e alta energia,

necessitam uma tensão maior para emitir luz, quando comparados a LED's vermelhos, que apresentam comprimento de onda grande e baixa energia. A emissão de luz de comprimentos de onda diferentes implica em tensões diferentes.

Cada LED é projetado para suportar um certo nível de corrente máxima, na qual apresenta uma determinada intensidade luminosa, medida em candelas. Essa intensidade luminosa é diretamente proporcional à sua corrente de polarização direta, e a variação dessa corrente resulta em um controle da intensidade luminosa emitida, como pode ser verificado na figura 1.2, que mostra um exemplo do controle da intensidade luminosa de um LED específico.

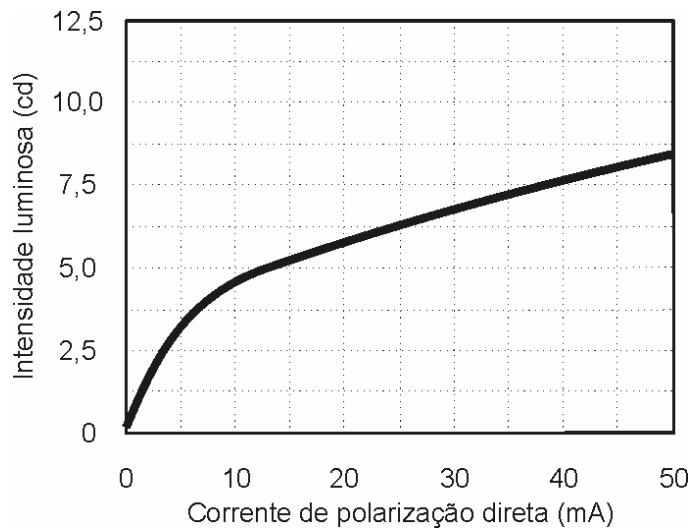


Figura 1.2 – Controle da intensidade luminosa de um LED de 5mm.

Ainda, esses dispositivos possuem resistência com coeficiente de temperatura negativo, o que implica na necessidade de um circuito que limite sua corrente de polarização direta, além de garantir que a queda de tensão direta do LED não ultrapasse o valor nominal, nem seja reduzida abaixo do nível mínimo necessário para emissão de fluxo luminoso.

Existem várias formas e tamanhos de LED's, sendo que cada tipo apresenta um encapsulamento diferenciado, resultando em um feixe luminoso com ângulo de abertura específico, que depende dessas características construtivas do LED.

Alguns tipos de LED's, principalmente os que apresentam encapsulamento semelhante ao dos LED's mais simples, como os de 3mm e de 5mm, apresentam um ângulo de abertura estreito, de cerca de 30°, resultando em uma luz dirigida e um alto aproveitamento do fluxo luminoso nos casos que se pretende iluminar um

ponto específico, ou uma área delimitada, como em iluminação de obras de arte e no destaque de algum objeto.

Por outro lado, existem LED's que apresentam um ângulo de abertura maior, podendo chegar a praticamente 180°, e sua utilização é mais indicada nos casos de iluminação ambiente, que necessitam uma iluminação distribuída. Ainda assim, esse ângulo de abertura menor que 180° implica em redução das perdas de fluxo luminoso com relação às lâmpadas convencionais, como incandescentes e fluorescentes, que apresentam fluxo luminoso irradiado em todas as direções. Ainda que sejam utilizadas calhas refletoras, o que eleva os custos com instalação, o índice de reflexão do fluxo luminoso não chega a ser ideal, resultando em perdas desse fluxo e de energia elétrica.

LED's não apresentam gás ou filamento para geração de luz, o que resulta em uma baixa irradiação de calor e alta vida útil, que pode chegar a 100.000 horas, segundo Cook (2000). Lâmpadas fluorescentes tubulares apresentam vida útil de aproximadamente 10.000 horas e lâmpadas incandescentes apresentam vida útil de cerca de 1.000 horas, segundo Silva (2002). Além disso, a ausência de gás ou filamento faz com que esses dispositivos apresentem alta resistência a choques e vibrações, uma vez que não apresentam componentes frágeis que possam se romper em condições precárias de proteção.

Ainda, a alimentação desses dispositivos é efetuada em corrente contínua e com baixos níveis de tensão, o que favorece sua inserção em sistemas de iluminação embarcada, alimentados a partir de baterias, e em sistemas inteligentes controlados através de microcontroladores. Essa característica proporciona várias vantagens ao sistema, como possibilidade de variação da intensidade luminosa sem necessidade de sistemas complexos para tal e ignição em baixa potência sem comprometer a vida útil do dispositivo e do sistema.

Esta última característica torna possível uma ignição suave do sistema de iluminação, partindo-se de um nível de potência baixo, ou nulo, e elevando-se essa potência gradativamente, até atingir o nível de potência nominal do LED e do sistema. Esse aumento de potência gradativo não é possível em sistemas de iluminação que utilizam lâmpadas fluorescentes, por exemplo, pois estas apresentam características não lineares de ignição e necessitam níveis de tensão elevados para tal.

### 1.3 Técnicas para obtenção de luz branca

Ao estudar fontes luminosas alternativas, é necessário levar em consideração as necessidades específicas de cada ambiente a ser iluminado, principalmente com relação à qualidade da iluminação, como temperatura de cor e índice de reprodução de cores, para obter uma iluminação coerente com as atividades visuais exercidas em cada um desses ambientes.

Para atender às especificações de cada setor da área de iluminação, vários estudos têm sido feitos com o objetivo de obter um LED branco de alta intensidade luminosa, com índice de reprodução de cores elevado e baixo consumo de energia, além de custo de produção reduzido, para tornar viável sua inserção no mercado consumidor atual.

Algumas das técnicas de obtenção de luz branca a partir de LED's são descritas a seguir, com suas respectivas vantagens e desvantagens com relação à qualidade do feixe luminoso emitido.

#### 1.3.1 LED recoberto por camada de fósforo

O método mais simples e mais utilizado para obtenção de LED branco é a utilização de um LED emissor de feixe luminoso azul, recoberto por uma camada de fósforo de cor amarelada, complementar ao feixe azul emitido.

Esse LED é projetado de forma que uma parcela da luz azul atravesse a camada de fósforo, gerando a parte azul do espectro. A outra parcela de energia proveniente da luz azul é absorvida pela camada de fósforo e convertida nas porções do espectro complementares ao azul. O resultado da combinação dessas cores é a emissão de um feixe luminoso branco.

A densidade de fósforo é escolhida de forma a absorver uma fração pré-determinada da energia proveniente da luz azul, garantindo uma temperatura de cor específica. Essa densidade depende, portanto, das características do LED azul utilizado como fonte de luz primária e da eficácia de conversão do fósforo utilizado.

A luz branca emitida por esse tipo de LED é o resultado da combinação do feixe de luz azul, proveniente da fonte primária de luz que ultrapassa a camada de fósforo, com o feixe luminoso de cor amarelada, irradiada a partir dessa camada de

fósforo, resultando em uma alta temperatura de cor e índice de reprodução de cores relativamente baixo.

Além disso, o estudo realizado por Sheu (2003) indica que a variação da corrente de polarização do LED desloca a banda azul no espectro, conforme figura 1.3, devido à alteração na região de depleção do mesmo. A região de *bandgap* sofre um estreitamento pelo acréscimo de temperatura, sob injeção de altas correntes. Esse deslocamento pode resultar em uma variação significativa da temperatura de cor do LED, se a corrente de polarização for suficientemente alterada.

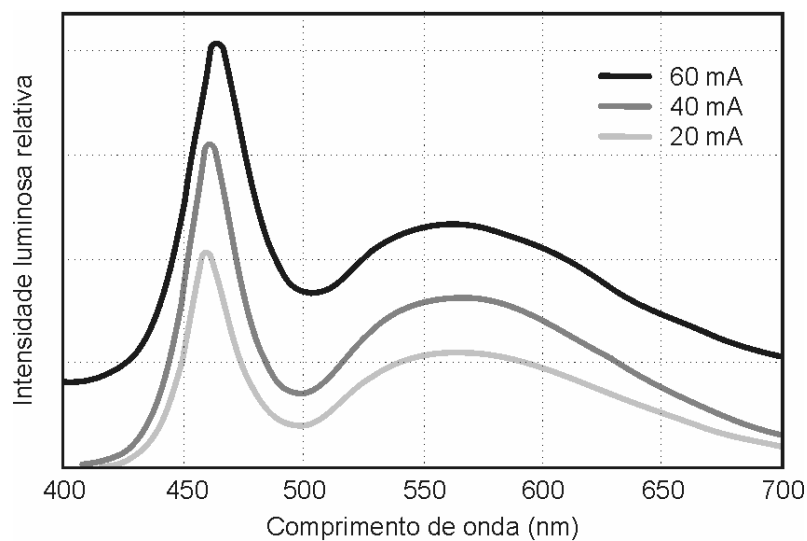


Figura 1.3 – Espectro da luz branca emitida por um LED azul recoberto por camada de fósforo.

### 1.3.2 LED ultravioleta

Uma alternativa encontrada para sanar alguns desses problemas é apresentada por Murakami (2000), que propõe a utilização de um LED emissor de radiação ultravioleta, recoberto por um conjunto de fósforos emissores de luz azul, vermelha e verde (RGB), de forma similar a um tubo de luz fluorescente.

Nesse caso, a radiação ultravioleta emitida pelo LED é completamente absorvida pelo conjunto de fósforos e reemitida na forma de um conjunto de cores RGB, resultando em uma luz branca com índice de reprodução de cores semelhante ao apresentado por lâmpadas fluorescentes tubulares, por utilizar a mesma técnica de conversão de radiação ultravioleta em luz visível.



Esta técnica não apresenta alteração visível do comprimento de onda emitido, ainda que a corrente de polarização direta sofra alteração, pois a banda deslocada no espectro está em níveis ultravioletas e, portanto, invisíveis ao olho humano. A distribuição da intensidade luminosa relativa desse LED no espectro é mostrada na figura 1.4.

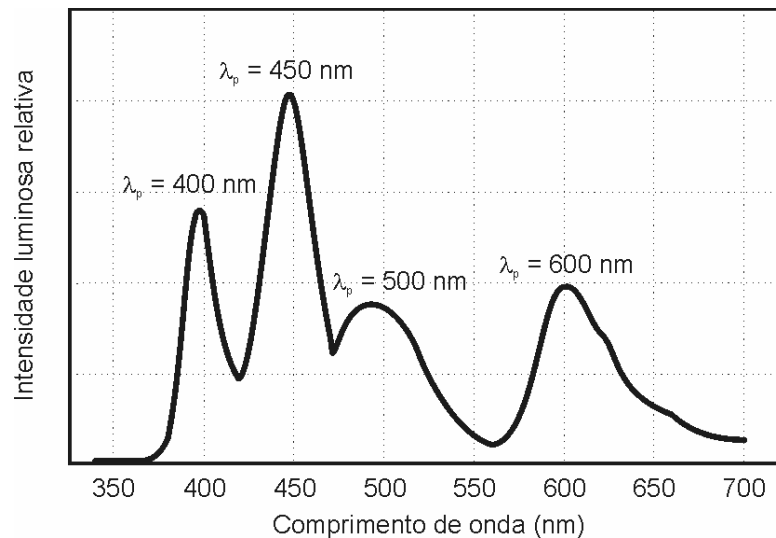


Figura 1.4 – Espectro de um LED ultravioleta combinado a um conjunto de fósforos RGB.

Conforme análise apresentada por Steigervald (2002), esse dispositivo apresenta baixa eficácia luminosa, devido à baixa eficácia característica dos LED's emissores de radiação ultravioleta e às perdas provenientes da conversão dessa radiação ultravioleta em luz branca pelo conjunto de fósforos, sendo que esta técnica é pouco utilizada.

### 1.3.3 LED com comprimento de onda próximo ao ultravioleta

Sheu (2003) propõe a fabricação de LED's brancos a partir de um LED emissor de radiação com comprimento de onda próximo ao ultravioleta, coberto por uma camada de fósforos RGB.

Embora esta configuração apresente ainda um deslocamento da banda relativo à variação da corrente de polarização, isso não representa influência na temperatura de cor, pois a banda deslocada está numa faixa praticamente invisível.

As bandas visíveis são originadas pelos fósforos, e são independentes da corrente de polarização, resultando em uma temperatura de cor estável.

A figura 1.5 representa a intensidade luminosa emitida por um LED com esta configuração, distribuída no espectro, para diferentes níveis de corrente de polarização.

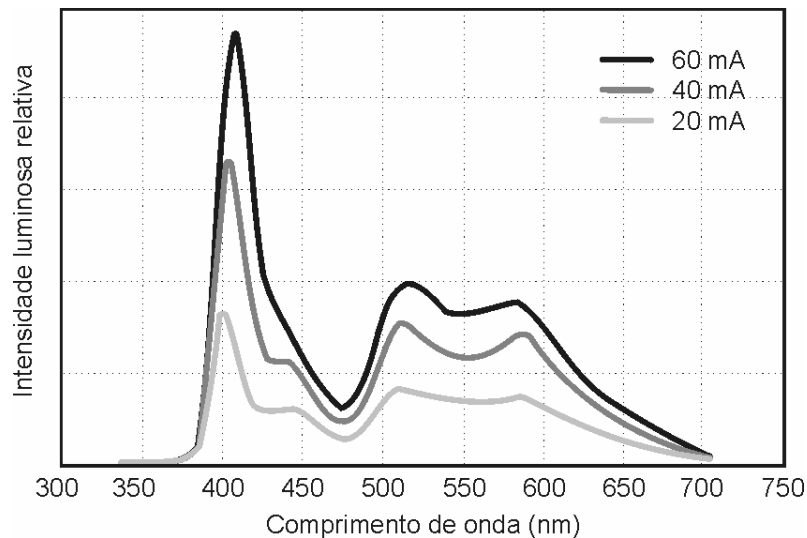


Figura 1.5 – Espectro de um LED com feixe luminoso próximo ao ultravioleta, combinado a um conjunto de fósforos RGB.

O índice de reprodução de cores próximo a 75 é semelhante ao apresentado por lâmpadas fluorescentes tubulares, justificando assim sua utilização em sistemas de iluminação interna.

Esta técnica apresenta uma maior estabilidade na temperatura de cor do LED, com relação à técnica que utiliza LED azul como fonte primária. Porém, a eficácia luminosa cai pela metade. A viabilidade da utilização desta técnica pode ser atingida a partir da otimização do LED apresentado por Sheu (2003), como por exemplo, a utilização de fósforos com eficácia de conversão maior, para aumentar a eficácia luminosa resultante do LED.

### 1.3.4 Conjunto de LED's de diferentes cores

Através da utilização de LED's de diferentes cores, pode-se obter luz branca, desde que exista uma relação entre os comprimentos de onda emitidos por cada um desses LED's.

Combinando-se as cores vermelho, verde e azul, através de um controle de intensidade luminosa de cada um desses feixes luminosos, pode-se obter um resultado que fique próximo a qualquer cor dentro do plano formado por esses comprimentos de onda, num diagrama de cromaticidade, inclusive branco, conforme se verifica na figura 1.6.

Utilizando-se, por exemplo, três LED's, sendo que um emite um feixe luminoso azul de comprimento de onda 450 nm, um segundo emite um feixe luminoso vermelho de 650 nm, e um terceiro LED emite feixe luminoso de cor verde de 530 nm, pode-se obter qualquer cor situada dentro do triângulo formado por esses comprimentos de onda no diagrama de cromaticidade, conforme figura 1.6, através do controle da intensidade luminosa de cada um desses LED's, segundo Muthu (2002).

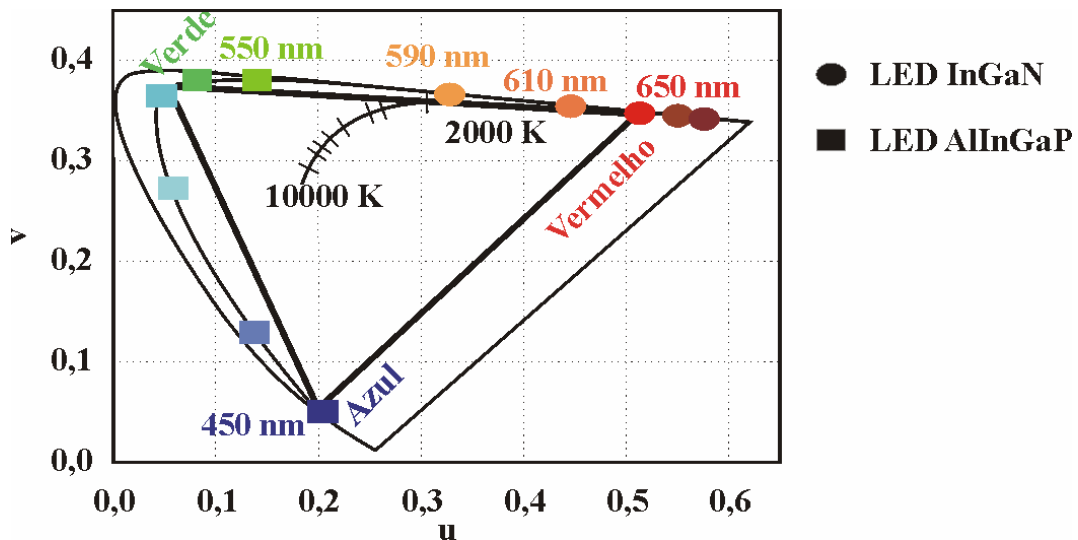


Figura 1.6 – Diagrama de cromaticidade - CIE 1960 e linha de corpo negro.

A figura 1.6 apresenta, ainda, um corpo negro, situado dentro desse triângulo, indicando que é possível obter um feixe luminoso branco com temperatura de cor variável, conforme as intensidades luminosas provenientes de cada LED.

Para obter um resultado satisfatório na emissão de luz branca deve-se, ainda, otimizar a utilização de cada LED através de uma combinação apropriada de LED's de diferentes cores, de forma que a maioria destes operem com corrente de polarização direta próxima à nominal. Song (1997) propõe duas configurações possíveis para otimização da utilização dos LED's, sendo uma combinação de 4 LED's azuis, 2 vermelhos e 4 verdes, e outra de 4 LED's azuis, 3 vermelhos e 5 verdes, uma vez que LED's vermelhos normalmente apresentam intensidade luminosa maior. Se essa combinação fosse composta por um número igual de LED's de cada cor, os LED's vermelhos deveriam apresentar uma corrente de polarização direta abaixo da sua corrente nominal, o que não afetaria o resultado obtido, embora representasse um incremento desnecessário no custo do sistema, considerando-se a utilização de um número elevado de LED's de cada cor.

Outra característica importante dos LED's, que deve ser levada em conta, é que efeitos como temperatura de junção, tempo de utilização e corrente de polarização direta podem alterar as características dos mesmos, reduzindo sua eficácia luminosa e alterando a temperatura de cor resultante. Considerando ainda que cada cor do conjunto de LED's RGB (conjunto de LED's vermelhos, verdes e azuis) sofre uma degradação diferenciada com relação a esses aspectos, e por apresentarem características diferentes entre si, uma fonte luminosa composta por LED's RGB apresentará uma alteração na sua intensidade luminosa, índice de reprodução de cores e temperatura de cor, que pode ser perceptível a olho nu, de acordo com a degradação dos LED's.

A alternativa mais apropriada para solução desse problema é a utilização de um controle da temperatura de cor do conjunto, através do sensoriamento das cores do espectro de forma independente. A relação entre as intensidades luminosas de cada cor deve ser mantida através de uma malha de realimentação do conjunto RGB que controla a corrente de polarização dos LED's de cada cor.

Por exemplo, se o conjunto estiver emitindo uma cor avermelhada, o controlador irá reduzir a corrente de polarização dos LED's vermelhos, ou aumentar as correntes dos LED's verdes e azuis, desde que estas não atinjam níveis superiores aos seus valores nominais, até que a temperatura de cor requerida seja restabelecida.

Assim como é possível garantir a luz branca com temperatura de cor constante através desse tipo de comando, pode-se obter também qualquer outra cor

que seja possível produzir a partir dos LED's utilizados. O sistema proposto por Muthu (2003) apresenta sensoriamento independente para cada cor emitida, e uma interface entre o usuário e o sistema que permite controlar a cor resultante do conjunto de LED's, com um comparador entre a cor requerida pelo usuário e o resultado da cor emitida pelo conjunto de LED's, conforme descrito na figura 1.7.

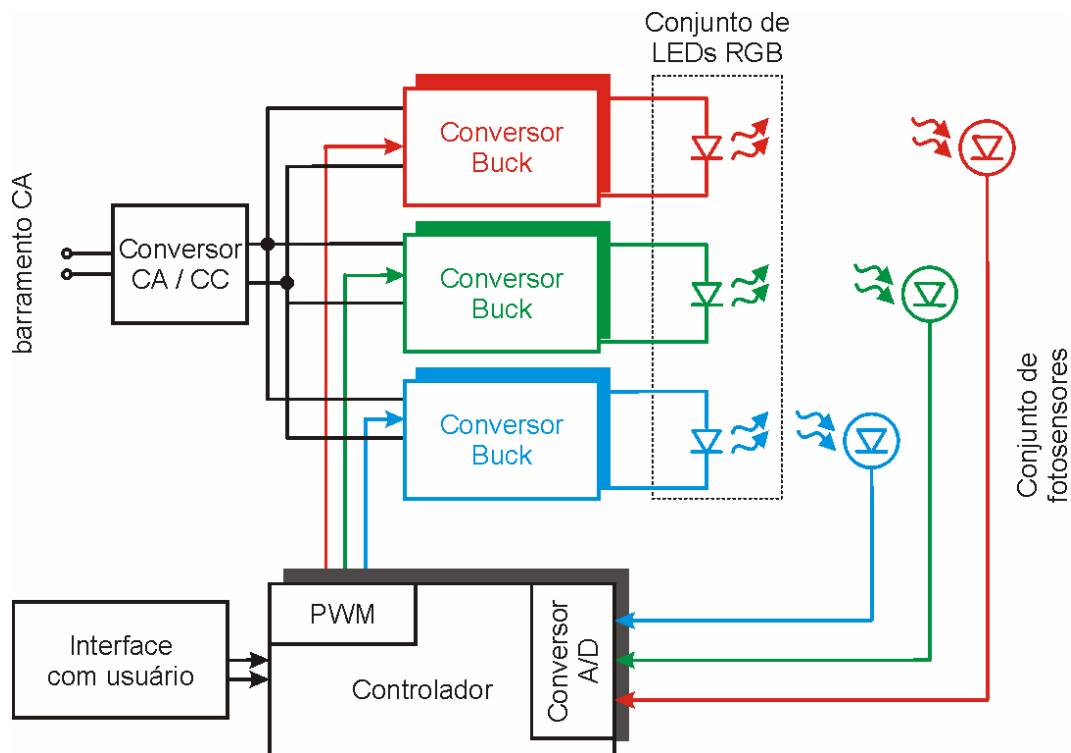


Figura 1.7 – Diagrama de blocos de um sistema de controle de LED's RGB.

Esse conjunto de LED's RGB apresenta muitas vantagens com relação às alternativas apresentadas anteriormente, como alto índice de reprodução de cores, possibilidade de controle da temperatura de cor e possibilidade de variação da cor resultante. Essas características tornam muito grande a gama de aplicações para esses sistemas, podendo-se adaptar facilmente a qualquer tipo de ambiente, inclusive às necessidades específicas encontradas em diferentes situações, como em um ambiente que proporcione uma sensação visual diferenciada a cada hora do dia ou em cada época do ano.

Porém, o circuito de comando desse sistema é mais complexo que os utilizados nos LED's a base de fósforo, devido à necessidade de sensoriamento e comandos independentes para as diferentes cores emitidas no espectro, o que causa um incremento significativo no custo do sistema de alimentação e controle.

A utilização desse tipo de LED é mais adequada em aplicações que necessitem controle de cor, aproveitando-se ao máximo sua versatilidade de configuração. Esta técnica de controle de LED's não deve ser caracterizada simplesmente como uma técnica de obtenção de feixe luminoso branco, mas sim como uma técnica que possibilita a obtenção de qualquer cor a partir de uma mesma fonte luminosa.

#### **1.4 Eficácia luminosa**

Nos dias atuais, a eficácia luminosa, em lumens por watt, obtida a partir da utilização de dispositivos semicondutores chega a valores superiores aos obtidos através do uso de lâmpadas incandescentes.

Essa eficácia luminosa deve apresentar valores ainda mais atrativos nos próximos anos, devido ao crescente interesse acerca desses dispositivos por parte da indústria e, conseqüentemente, aos crescentes avanços obtidos por pesquisadores da área.

Zorpette (2002) projeta valores próximos a 150 lm/w para o ano de 2012 e cerca de 200 lm/w por volta do ano 2020, uma vez que a eficácia luminosa teórica máxima de um LED chega a valores compreendidos entre 300 e 400 lm/w, dependendo do índice de reprodução de cores e temperatura de cor da luz branca obtida, segundo Guo (1999).

Porém, a comparação direta entre as eficácias luminosas apresentadas por lâmpadas convencionais e por LED's resulta em conclusões que não estão de acordo com a realidade.

É importante salientar que o fluxo luminoso característico de uma lâmpada convencional é irradiado em todas as direções e, portanto, grande parte desse fluxo é perdida. A utilização de lentes refletoras reduz essa perda de luminosidade, que ainda assim representa valores consideráveis.

Já o fluxo luminoso proveniente de um LED é dirigido, podendo representar um aproveitamento de praticamente 100% da energia luminosa, dependendo do tipo de LED utilizado e da aplicação específica a ser considerada.

Em aplicações onde a iluminação focada é o principal objetivo, como em iluminação de leitura, de monumentos históricos ou de sinalização em geral, a

diferença entre as taxas de utilização da energia luminosa é ainda maior, uma vez que as lâmpadas convencionais apresentam níveis menores de aproveitamento do fluxo luminoso, nesses casos. A utilização de refletores insere perdas ao fluxo luminoso que podem atingir cerca de 40% a 60%, dependendo do ângulo de abertura do feixe resultante e do índice de reflexão do refletor utilizado.

Uma lâmpada que emite fluxo luminoso de 500 lumens, por exemplo, utilizada para iluminação direcionada com o auxílio de um refletor que apresente índice de reflexão de aproximadamente 50%, pode ser substituída por um arranjo de LED's que emite cerca de 300 lumens, mantendo o mesmo nível de iluminância (medida em lux) na região que se deseja iluminar, segundo notas da Lumileds Lighting, LLC.

Outra característica interessante apresentada por LED's é que eles são capazes de produzir fluxo luminoso colorido sem o auxílio de lentes. Em sistemas de iluminação que necessitam fontes luminosas coloridas, como em sistemas de sinalização urbana, sinaleiras de veículos ou semáforos, a utilização de LED's dispensa a utilização de lentes coloridas e refletoras, resultando em um aproveitamento luminoso ainda maior.

No caso da luz vermelha de semáforos, por exemplo, Brahim (1998) conclui que uma lâmpada incandescente de 150 watts pode ser substituída por um arranjo de LED's de 14 watts, ainda que estes não apresentem uma eficácia luminosa tão superior, em lumens por watt, a ponto de chegar a mais de 10 vezes a eficácia luminosa de uma lâmpada incandescente.

## **1.5 Conclusão**

Neste capítulo foram revisados os principais conceitos sobre iluminação semicondutora, com as características luminosas, físicas e de acionamento desses dispositivos.

A análise dessas características motiva o estudo de sistemas de alimentação e controle para esses dispositivos, uma vez que os mesmos já estão em plena inserção no mercado atual, embora para aplicações ainda limitadas, devido ao elevado custo apresentado por esses dispositivos.

Porém, uma vez que o processo produtivo dos LED's não demanda demasiados custos com matéria prima, é notório que esses dispositivos devem apresentar valores bem mais condizentes com a realidade, a medida que a produção dos mesmos passe a ser em maior escala.

Sem dúvida, os LED's são fontes luminosas que deverão ser inseridas em muitos sistemas de iluminação, de forma gradativa, e devem tomar espaço de lâmpadas convencionais, principalmente em aplicações que necessitem sistemas robustos, como sistemas embarcados, sistemas de iluminação de difícil acesso, como em iluminação de emergência, aplicações que necessitem iluminação dirigida, como obras de arte, iluminação de leitura, lanternas, além de sistemas de iluminação colorida, geralmente de sinalização, como em sinalização de tráfego urbano, semáforos e sinaleiras de veículos.

Mas os sistemas de iluminação semicondutora devem se inserir também no mercado de iluminação ambiental, com sistemas inteligentes de iluminação, que aproveitem cada vez mais o fluxo luminoso produzido, resultando em máximo aproveitamento da energia luminosa e elétrica, reduzindo o consumo de energia elétrica voltado à iluminação artificial.



## REDES AUTOMOTIVAS

---

### 2.1 Introdução

Com um número cada vez maior de sistemas eletrônicos sendo inseridos em veículos automotores, com os mais variados propósitos, que vão desde o conforto dos condutores e passageiros até os sistemas de segurança e prevenção contra acidentes, o cabeamento elétrico se tornou um problema. Cada sistema requer uma alimentação e a interligação com um dispositivo de controle para operar de forma adequada, sem mencionar a necessidade de sistemas de proteção contra falhas, que devem estar presentes em cada circuito.

Para controlar todos esses sistemas de forma otimizada, a alternativa é utilizar redes de comunicação, criando uma interface simples entre o usuário e todos os sistemas embarcados, tornando possível até mesmo o controle de todos os sistemas a partir de um painel de controle centralizado, ainda que se necessite para isso de sensores distribuídos no veículo, desde que conectados à rede de comunicação. Sendo assim, os sistemas podem compartilhar informações entre si, minimizando o número de dispositivos de sensoriamento através da redução da ocorrência de informações redundantes.

Este capítulo aborda algumas teorias sobre redes de comunicação, com análise da velocidade de transmissão de dados e custo por incremento de nó para os principais protocolos de comunicação automotivos. A abordagem de uma classificação desses protocolos de comunicação é seguida de uma descrição dos protocolos de comunicação mais difundidos no mercado automobilístico mundial, como sua funcionalidade e técnicas de identificação e correção de erros, além das características necessárias aos dispositivos controladores dessas redes, como microcontroladores.

## 2.2 Classificação dos protocolos de comunicação

Vários tipos de protocolos de comunicação têm sido propostos para aplicações em veículos de transporte, ou para controle de sistemas eletrônicos embarcados de uma forma geral. Essa gama de protocolos vem a atender as características e necessidades específicas das diferentes aplicações, que vão desde o conforto e entretenimento até o controle de sistemas de segurança e prevenção de acidentes.

Em alguns veículos, diferentes protocolos de comunicação estão presentes em uma mesma rede, conectados entre si através de uma interface (*gateway*). Os propósitos de cada protocolo diferem entre si, uma vez que alguns sistemas necessitam de resposta em tempo real e com a maior confiabilidade possível, independente do custo exigido para tal, enquanto que outras aplicações, mais simples, não requerem o mesmo nível de robustez e taxa de transmissão de dados. Portanto, cada aplicação apresenta necessidades distintas, e a solução mais simples e economicamente viável é empregada na realização de cada tarefa específica, desde que atenda às especificações necessárias à mesma, como confiabilidade e tempo de resposta.

As características de cada protocolo variam conforme o custo, velocidade de transmissão de dados, robustez, confiabilidade entre outras.

Para uma melhor análise e comparação dos diferentes tipos de protocolos existentes, estes são divididos em classes. Segundo critérios utilizados pela SAE (*Society of Automotive Engineers*), os protocolos de comunicação para aplicações automotivas são enquadrados dentre as seguintes classificações, descritas por Lupini (2003).

- a) Classe A;
- b) Classe B;
- c) Classe C;
- d) Diagnóstico;
- e) *Mobile Media*;
- f) *Safety Bus*;
- g) *Drive by Wire*.

### 2.2.1 Classe A

Protocolos com taxa de transmissão de dados normalmente inferior a 10kbps. Apresentam baixo custo e são relacionados às funções que apresentam poucos recursos, como atuadores e sensores inteligentes, como em sistemas dedicados ao conforto no veículo.

Alguns exemplos de protocolos de comunicação classe A são UART, Sinebus, I<sup>2</sup>C, SAE J1708, ACP e LIN, sendo o protocolo LIN (*Local Interconnect Network*) um dos mais atuais e mais difundidos na atualidade, por ser mais versátil, além de apresentar uma taxa de transmissão de dados maior, com baixo custo e simplicidade.

Esse protocolo é descrito de forma mais detalhada a seguir, sendo que sua principal aplicação é em veículos de transporte, como uma rede subordinada a outros protocolos mais complexos, enquadrados nas próximas classificações.

### 2.2.2 Classe B

Protocolos com taxa de transmissão enquadrada entre 10 kbps e aproximadamente 125 kbps, utilizados na maioria das funções não críticas dos sistemas de comunicação que necessitam de uma taxa de transmissão de dados maior que a apresentada pelos protocolos compreendidos na classe A, e elevando o custo por nó. Um exemplo de sua utilização é no controle de sistemas dedicados ao entretenimento no veículo.

O protocolo de comunicação enquadrado na classe B mais difundido mundialmente é o J1850, principalmente nos Estados Unidos, onde o protocolo CAN ainda não obteve grande fatia do mercado. Aos poucos, as redes de protocolo J1850 têm sido substituídas por redes de protocolo CAN integradas a sub-redes do tipo LIN.

### 2.2.3 Classe C

Protocolos com taxa de transmissão de dados compreendida entre 125 kbps e 1 Mbps, são relacionados a alguns controles de segurança em tempo real no veículo, como controle do fluxo de combustível.

Alguns exemplos de protocolo de comunicação classe C são GMLAN, SAE J1939 e CAN, embora algumas variações desses protocolos possam ser enquadradas na classe B, de acordo com a taxa de transmissão de dados obtida a partir dos nós utilizados.

O protocolo CAN é o mais utilizado no mundo, principalmente na Europa, sendo que muitos automóveis comercializados hoje no Brasil apresentam redes do tipo CAN, além das principais montadoras de ônibus rodoviários do país, que utilizam esse protocolo de comunicação há mais tempo, para controle de praticamente todos os sistemas eletrônicos embarcados.

### 2.2.4 Diagnóstico

Protocolos utilizados nos sistemas de emissão de diagnóstico embarcado. Alguns desses protocolos são J2480, J1850 e ISO 9141, embora esses protocolos possam estar classificados em outras categorias, mas atendem também às necessidades específicas dessa classe.

### 2.2.5 *Mobile Media*

Protocolos utilizados na implementação do conceito “Computador sobre rodas”, com taxa de transmissão de dados compreendida entre 250 kbps e 100Mbps. Alguns desses protocolos são MOST, MML, D<sup>2</sup>B, *Firewire*, USB, IEEE 1394 e *Bluetooth*.

Esta categoria é subdividida ainda em três classes, que são baixa velocidade, alta velocidade e sem fio.

### 2.2.6 Safety Bus

Nesta classificação se encontram os protocolos utilizados no controle de sistemas de segurança que necessitam de uma taxa de transmissão de dados muito grande, possibilitando uma resposta muito rápida e precisa do sistema, como no caso de sistemas de *AirBags*.

Alguns exemplos de protocolos *Safety Bus* são *Safe by Wire*, DSI e *Byteflight*.

### 2.2.7 Drive by Wire

Protocolos utilizados em aplicações destinadas a substituir sistemas puramente mecânicos por sistemas eletromecânicos, como direção, freio e aceleração do veículo.

A taxa de transmissão de dados é compreendida entre 1 Mbps e 10 Mbps, e se caracteriza pela necessidade de máxima segurança e confiabilidade de transmissão de dados, com baixa tolerância a erros, o que torna o custo um problema na inserção desses protocolos.

Alguns protocolos compreendidos nesta classificação são TTP, *FlexRay* e TTCAN, ainda que não se tenha estabelecido um critério para avaliação de quanto confiável deve ser a rede para atender às necessidades desses sistemas.

## 2.3 Considerações sobre os protocolos de comunicação

Embora exista uma série de protocolos de comunicação diferentes para cada tipo de aplicação, deve-se avaliar as características de cada um, como robustez, confiabilidade, taxa de transmissão de dados e custos envolvidos na implementação do sistema, pois os protocolos que apresentam taxas de transmissão de dados maiores geralmente apresentam um acréscimo significativo nos custos envolvidos na implementação da mesma.

Alguns protocolos de comunicação comumente utilizados são descritos na figura 2.1, que avalia a velocidade de transmissão de dados em relação ao

acréscimo de custos envolvidos na implementação, segundo Rylander (2003). Esses custos variam de acordo com as características mínimas necessárias aos microcontroladores utilizados e a necessidade de utilização de componentes físicos adicionais em cada nó ligado à rede, como cristais ressonantes e interfaces físicas entre os microcontroladores e o barramento da rede.

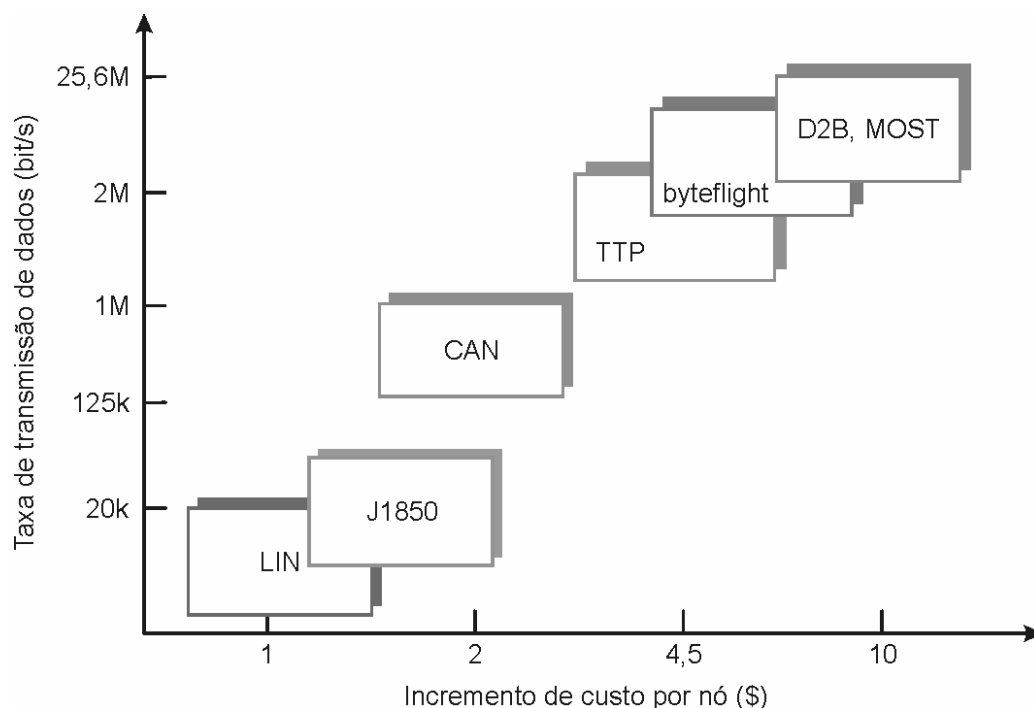


Figura 2.1 – Análise de custos e taxa de transmissão de dados para diferentes protocolos de comunicação.

O protocolo mais utilizado em redes automotivas na atualidade é o CAN, que possui uma grande variedade de configurações possíveis, tornando essa rede versátil e possibilitando que a mesma seja capaz de efetuar vários tipos de funções distintas. Essa característica possibilita, assim, que esse protocolo de comunicação seja inserido em diversos campos de aplicações automotivas, desde o controle de sistemas embarcados em carros de passeio até em caminhões de carga ou veículos de transporte coletivo.

Aliado a esse protocolo, muitas redes automotivas apresentam um protocolo LIN, que opera como uma sub-rede ligada à rede CAN através de uma interface (*gateway*), possibilitando a inserção de vários nós à rede e reduzindo o custo por nó.

Ainda, por se tratar de protocolos de comunicação em pleno desenvolvimento e inserção no mercado atual, vamos tratar de uma forma mais

aprofundada os protocolos mais utilizados pelo mercado automobilístico atual, que são CAN, J1850 e LIN, de acordo com as aplicações a que se destinam. Esta análise visa um melhor entendimento da operacionalidade de cada um desses protocolos de comunicação e as possibilidades de configurações que apresentam.

## 2.4 Protocolo de comunicação CAN

CAN é um protocolo de comunicação serial utilizado no controle em tempo real de sistemas distribuídos, com alto nível de segurança. Sua principal área de aplicação envolve sistemas eletrônicos embarcados, sendo de grande utilização pelo setor automotivo, principalmente por sua flexibilidade de aplicação e confiabilidade, no intuito de facilitar a instalação elétrica através da substituição do cabeamento de vários sensores por um barramento de 2 fios entrelaçados.

Os sistemas que utilizam protocolos CAN caracterizam-se por apresentar um baixo custo e alta velocidade de comunicação, permitindo taxas de transferência de dados de até 1 Mbps, no caso de redes de até 40 metros de extensão. As redes que utilizam esse protocolo de comunicação possuem capacidade de diagnóstico e reparação de erros de dados, e não apresentam sensibilidade à interferência eletromagnética. Sua transmissão de forma diferencial resulta que ambos os fios são afetados da mesma forma, quando submetidos a uma interferência eletromagnética, e o sinal diferencial permanece inalterado.

Trata-se de um protocolo flexível, podendo-se adicionar ou remover nós da rede sem que para isto seja necessária qualquer alteração de *software* ou *hardware*, ou seja, trata-se de um sistema do tipo *Plug & Play*.

O identificador de mensagem não possui um destino, ou endereçamento físico, mas o significado dos dados enviados. Cada nó filtra a mensagem recebida e decide se esta será aproveitada ou não. Assim, esse protocolo caracteriza-se como sendo do tipo transmissão múltipla (*multicast*), pois qualquer número de nós pode identificar e atuar a partir de uma mesma mensagem, embora possa atuar também como um sistema de transmissão do tipo *broadcast*, desde que todos os nós reconheçam a mensagem presente no barramento da rede.

Qualquer nó pode iniciar a transmissão de uma mensagem através da rede, desde que o barramento se encontre em estado livre de mensagens, caracterizando

esse protocolo como sendo do tipo multi-mestre. Essa característica possibilita a ocorrência de colisões de acesso ao barramento, desde que mais de um nó tente iniciar a transmissão de uma mensagem, simultaneamente.

Porém, o identificador presente em uma mensagem do tipo CAN define uma priorização de mensagens durante o acesso à rede, evitando esse tipo de colisões sem perder nenhuma informação, mesmo que duas ou mais unidades iniciem uma transmissão ao mesmo tempo. O processo de priorização de mensagens é descrito a seguir, no campo de arbitragem.

Para se obter uma máxima integridade dos dados transmitidos, cada nó ligado à rede CAN apresenta medidas para detecção de erro, sinalização e autochecagem, resultando em uma probabilidade de menos de  $4,7 \times 10^{-11}$  de ocorrência de erros por mensagens corrompidas não detectadas.

Os nós de uma rede CAN são capazes de diferenciar pequenos distúrbios de falhas permanentes, e os nós defeituosos são desativados automaticamente do sistema.

Os nós da rede CAN são capazes de entrar em modo de espera, sem apresentar qualquer atividade interna e com os drivers do barramento sendo desativados, reduzindo o consumo de energia do sistema quando possível e maximizando o rendimento energético do mesmo. Qualquer atividade no barramento, ou por condições internas, o nó sai do modo espera e sua atividade interna é reiniciada.

O protocolo de comunicação CAN, inicialmente criado por Robert Bosch GmbH, na Alemanha, para aplicações automotivas, sofreu algumas alterações, e hoje há várias versões desse protocolo sendo utilizadas.

As primeiras versões, conhecidas como "CAN padrão" (versões 1.0, 1.2 e 2.0A) apresentam 11 bits de identificador de mensagem. Dessa forma, 2048 ( $2^{11}$ ) mensagens diferentes podem ser identificadas e, como as 16 mensagens de menor prioridade são reservadas, 2033 diferentes mensagens podem ser identificadas utilizando esse padrão de protocolo CAN.

As especificações da versão CAN 2.0A foram atualizadas para versão CAN 2.0B, devido a essa possível limitação no número de mensagens e para estar de acordo com os padrões de redes utilizados em caminhões, conforme SAE. Essa versão é conhecida como "CAN estendida", e apresenta um identificador de 29 bits,



que possibilita a ocorrência de mais de 536 milhões ( $2^{29}$ ) de identificadores de mensagem diferentes.

Ainda, essa versão permite a utilização de um identificador de mensagem de 11 bits, ou seja, um nó com protocolo do tipo CAN estendida, conectado à rede, compreende uma mensagem enviada por um nó com protocolo CAN padrão, de versão anterior. Porém, um nó do tipo CAN padrão não consegue reconhecer uma mensagem com identificador de 29 bits, agindo como se tal mensagem fosse um erro.

#### 2.4.1 Estrutura de dados padrão

Quando um nó do tipo CAN quer transmitir dados através da rede, este gera uma estrutura de dados, que compreende os campos indicados na figura 2.2, sendo que cada campo apresenta uma finalidade específica, e pode ser composto por um número variado de bits, dependendo da sua finalidade.

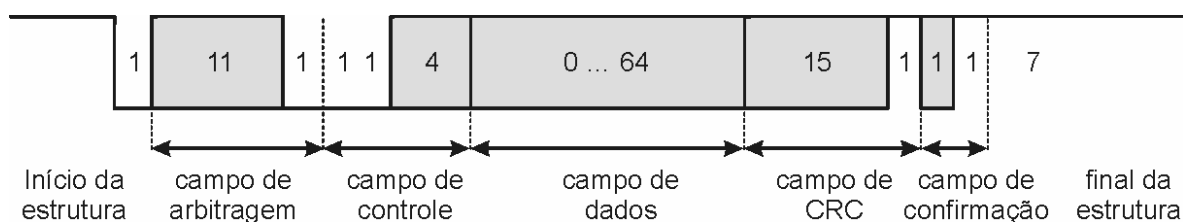


Figura 2.2 – Estrutura padrão de um protocolo CAN.

##### 2.4.1.1 Início da estrutura

O início da estrutura é composto por um bit de nível zero, que indica o início de uma transmissão e sincroniza todos os nós ligados à rede.

##### 2.4.1.2 Campo de arbitragem

Este campo consiste de 12 bits. Os 11 primeiros bits correspondem ao campo de identificação da mensagem, que indica o conteúdo e a prioridade da

mesma, enquanto que o último bit corresponde à solicitação de transmissão remota, que distingue uma estrutura de dados de uma estrutura remota.

A prioridade da mensagem é efetuada através de uma lógica entre os bits enviados ao barramento. No protocolo CAN, um bit de nível zero é dominante, enquanto que um bit de nível um é recessivo, conforme se pode verificar na figura 2.3. A ocorrência de um bit de estado dominante garante esse estado ao barramento, mesmo que outro bit de estado recessivo seja enviado simultaneamente.

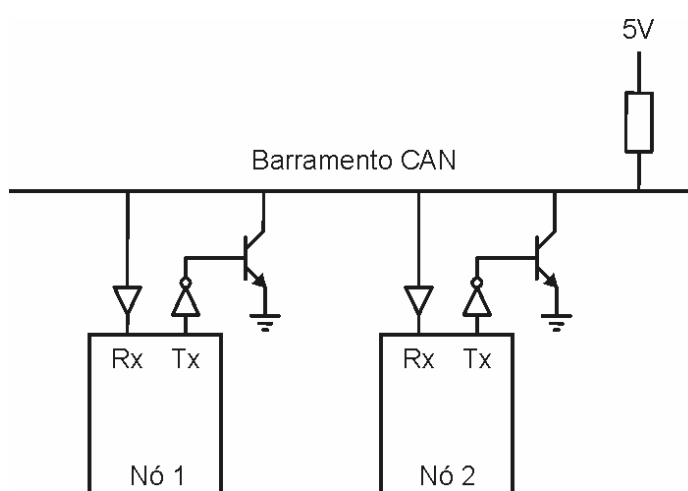


Figura 2.3 – Bit dominante e bit recessivo em uma rede CAN.

Se dois nós iniciarem a transmissão de uma estrutura de mensagem de forma simultânea, a prioridade de cada uma das mensagens será verificada a cada bit enviado, enquanto os nós enviarem bits de estados iguais. No momento em que um nó envia um bit de nível dominante e outro envia um bit de nível recessivo, o nó que tentou enviar o bit recessivo cancela sua transferência, e identifica a mensagem transmitida pelo outro nó, atuando como um nó escravo. Esse nó tenta reenviar sua mensagem assim que o barramento estiver livre de mensagens.

A figura 2.4 mostra um exemplo de três nós tentando enviar mensagens através da rede CAN, sendo que apenas uma delas é identificada no barramento CAN. As outras serão identificadas posteriormente.

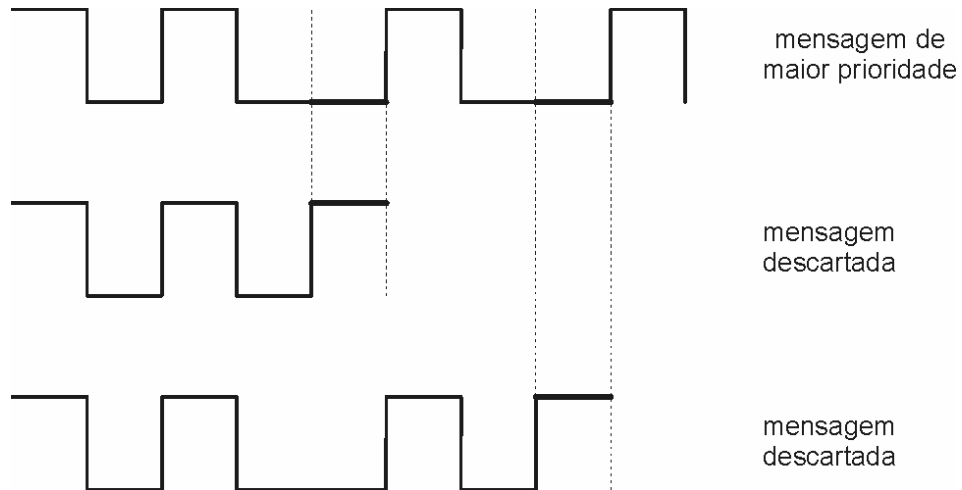


Figura 2.4 – Arbitrariedade de mensagens.

#### 2.4.1.3 Campo de controle

O campo de controle é composto por 6 bits.

O primeiro bit é chamado extensão do identificador, sendo que o estado dominante indica que a estrutura é do tipo padrão.

O segundo bit é reservado e definido como um bit dominante.

Os últimos 4 bits do campo de controle correspondem ao código de largura de dados, e identificam o número de bytes contidos no campo de dados que será transmitido a seguir, que pode ser de 0 a 8 bytes.

#### 2.4.1.4 Campo de dados

Este campo é composto por um número variável de bits, podendo possuir desde 0 a 64 bits, de acordo com a mensagem.

#### 2.4.1.5 Campo de controle de redundância cíclica - CRC

Este campo é composto por uma seqüência de 15 bits, seguida de um bit de estado recessivo, delimitador do campo. Este campo é responsável pela detecção de possíveis erros na transmissão, cujo mecanismo é descrito a seguir, na seção de detecção de erros.

#### 2.4.1.6 Campo de confirmação

O campo de confirmação é composto por 2 bits.

O primeiro bit enviado pelo nó transmissor da mensagem é recessivo, e qualquer nó que tenha reconhecido uma confirmação de estrutura sem ocorrência de erros envia um bit dominante na rede que, sobrepondo o bit recessivo, indica ao transmissor que a mensagem foi identificada.

O segundo bit enviado é o delimitador deste campo, e deve ser recessivo, não podendo ser sobrescrito por um bit dominante, o que identificaria a ocorrência de algum erro de transferência.

#### 2.4.1.7 Final da estrutura

Ao final da estrutura de dados são enviados 7 bits recessivos, que indicam o final da estrutura.

#### 2.4.2 Detecção de erros

O protocolo de comunicação CAN apresenta sofisticados mecanismos de detecção de erros, como o controle de redundância cíclica, citado anteriormente, verificação da estrutura, monitoramento de bits, entre outros. Esses mecanismos são descritos a seguir:

##### 2.4.2.1 Controle de redundância cíclica

O nó responsável pela transmissão de uma mensagem efetua um cálculo (*checksum*), utilizando a seqüência de bits compreendidos entre o bit de início da estrutura e o último bit do campo de dados. O resultado desse cálculo é transmitido no campo de controle de redundância cíclica, na estrutura da mensagem.

Os nós receptores da mensagem efetua o mesmo cálculo efetuado pelo transmissor, utilizando os bits recebidos, e comparam seus resultados com a

seqüência enviada pelo transmissor. Se um nó receptor verificar qualquer diferença entre as duas seqüências, este descarta a mensagem recebida e envia uma mensagem de erro na rede, requisitando a retransmissão do sinal deturpado.

#### 2.4.2.2 Verificação da estrutura

Alguns bits recessivos enviados ao barramento pelo transmissor não podem ser sobrescritos, como descrito na estrutura de envio de uma mensagem. São eles:

- a) Delimitador do controle de redundância cíclica;
- b) Delimitador do campo de confirmação;
- c) Final da estrutura (7 bits);
- d) Intervalo entre estruturas (3 bits recessivos após o final da estrutura).

Ao detectar um bit dominante no barramento durante a transmissão desses bits, o nó transmissor identifica a ocorrência de um erro na transmissão de dados, gera uma estrutura de erro e retransmite a mensagem.

#### 2.4.2.3 Monitoramento de bits

Ao transmitir um bit na rede e identificar que esta apresenta um estado diferente do estado do bit enviado (dominante ou recessivo), uma estrutura de erro é gerada, e a mensagem é repetida.

Este erro não ocorre desde que um bit dominante sobrescreva um bit recessivo durante o campo de arbitragem ou durante o primeiro bit do campo de confirmação, pois esses bits podem ser sobrescritos, para proporcionar arbitrariedade e funcionalidade à rede de comunicação.

#### 2.4.2.4 Controle de *Bit Stuffing*

O protocolo de comunicação CAN é do tipo NRZ (*Non Return to Zero*), ou seja, apresenta a possibilidade de envio de vários bits consecutivos de polaridades iguais, sem efetuar qualquer transição de estados entre cada bit.

Porém, essa característica pode implicar em um erro de sincronismo, quando for transmitido um número grande de bits de polaridades iguais, uma vez que cada variação de polaridade possibilita uma resincronização dos nós da rede.

O *bit stuffing* assegura o sincronismo entre todos os nós ligados à rede, não permitindo muitos bits consecutivos de polaridades iguais. Quando 5 bits de mesma polaridade são transmitidos em seqüência, o transmissor insere um bit adicional ao fluxo de dados, de polaridade oposta, antes de transmitir o próximo bit. Os nós receptores da mensagem identificam a ocorrência desses bits de mesma polaridade e removem o bit adicional do fluxo de dados, identificando a seqüência correta transmitida através da rede.

A ocorrência de 6 bits consecutivos de mesma polaridade, entre o início da estrutura e o delimitador do controlador de redundância cíclica, viola a regra de *bit stuffing*, gerando-se uma estrutura de erro e repetindo-se a transmissão da mensagem.

#### 2.4.2.5 Reparo de erros

Quando um erro é detectado na rede, todos os nós recebem uma estrutura de erro e a transmissão da mensagem é abortada, reiniciando-se a transmissão assim que possível.

Para evitar que um nó danificado venha a prejudicar a comunicação entre todos os nós conectados à rede, há um controle sobre os erros ocorridos em cada nó.

Para se efetuar esse controle, cada nó apresenta um contador interno de erros de transmissão e outro de recepção. Esses contadores são incrementados de um certo valor a cada ocorrência de erro na transmissão ou recepção de uma mensagem, e são decrementados de certo valor a cada transação bem sucedida.

Ao se reiniciar um nó, este apresenta seus contadores zerados, e o nó encontra-se em estado de erro ativo, operando normalmente suas comunicações. A partir daí, seus contadores de erros são atualizados a cada transação, aumentando ou diminuindo de valor.

A partir do momento em que um dos contadores atingir o valor 128, o respectivo nó passa ao estado de erro passivo, podendo ainda transmitir e enviar

mensagens através da rede, embora deva suspender sua transmissão durante um determinado tempo, após a transmissão de uma mensagem, para poder efetuar uma outra transmissão.

Esse nó pode retornar ao estado de erro ativo automaticamente, desde que ambos os seus contadores de erros atinjam valores inferiores a 128.

Se o contador de erros de transmissão de um nó exceder o valor 255, o respectivo nó é desconectado na rede, ficando assim impossibilitado de enviar ou receber mensagens. A rede considera que esse nó apresenta uma falha permanente, e o mesmo só poderá ser ligado novamente à rede depois que seus contadores de erros forem reiniciados.

## 2.5 Protocolo de comunicação J1850

O protocolo de comunicação J1850 é utilizado principalmente nos Estados Unidos, com a finalidade de efetuar diagnósticos e compartilhar informações em aplicações automotivas. Esse tipo de rede pertence à classe B, conforme a classificação da SAE, e é encontrado em sistemas de freios ABS, de transmissão, instrumentação e de diagnósticos.

Existem duas classificações desse protocolo de comunicação. Uma delas é a aproximação PWM (*Pulse Width Modulation*), composta por dois fios diferenciais, que apresenta taxa de transferência de dados de 41,6 kbps. A segunda versão é a aproximação VPW (*Variable Pulse Width*), composta por um único fio, que apresenta taxa de transferência de dados de até 10,4 kbps.

Para caracterizar o protocolo de comunicação J1850, a versão abordada neste trabalho será a VPW, por se tratar da mais utilizada pela indústria automobilística.

As mensagens enviadas segundo protocolo J1850 são compostas por bits considerados ativos ou passivos. Os bits ativos são representados por níveis de potencial alto, enquanto que os passivos apresentam nível de potencial baixo. Quando dois bits de polaridades opostas são enviados à rede, o bit ativo sobrescreve o passivo, mantendo esse nível na rede.

O tempo de duração de cada bit pode variar, sendo que um bit "1" é representado por um nível ativo de 64 micro-segundos, ou por um nível passivo de

128 micro-segundos, conforme figura 2.5. De forma recíproca, um bit “0” é representado por um nível passivo de 64 micro-segundos ou por um nível ativo de 128 micro-segundos, conforme figura 2.6.

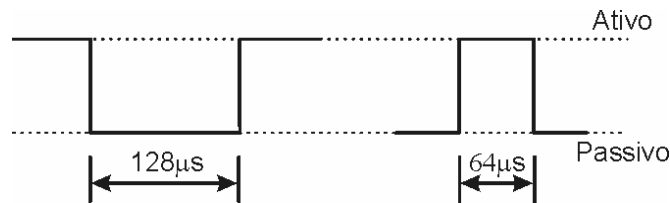


Figura 2.5 – Nível lógico “1”, no protocolo J1850.

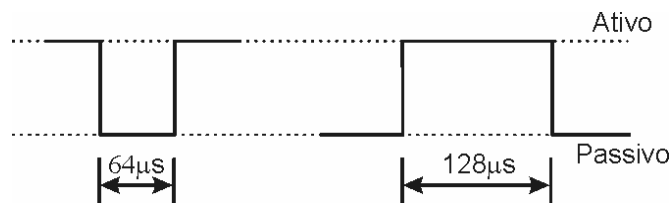


Figura 2.6 – Nível lógico “0”, no protocolo J1850.

Este protocolo permite arbitrariedade de mensagens a serem enviadas através da rede, sendo esse processo responsável pela determinação de qual, entre dois ou mais nós, pode continuar transmitindo sua mensagem na rede, quando estes começam uma transmissão de forma simultânea. Esse processo permite a priorização e evita colisão de mensagens.

A arbitragem é efetuada bit a bit, sendo que assim que um nó transmissor enviar um bit de estado passivo e identificar a ocorrência de um bit de estado ativo na rede, esse interrompe a transmissão de tal mensagem, passando a operar normalmente como um nó receptor.

Mensagens de maior prioridade são aquelas que apresentarem maior número de bits ativos no início do conteúdo de sua mensagem.

### 2.5.1 Estrutura da mensagem

A estrutura da mensagem transmitida através da rede, com um protocolo de comunicação J1850, compreende os campos indicados na figura 2.7.



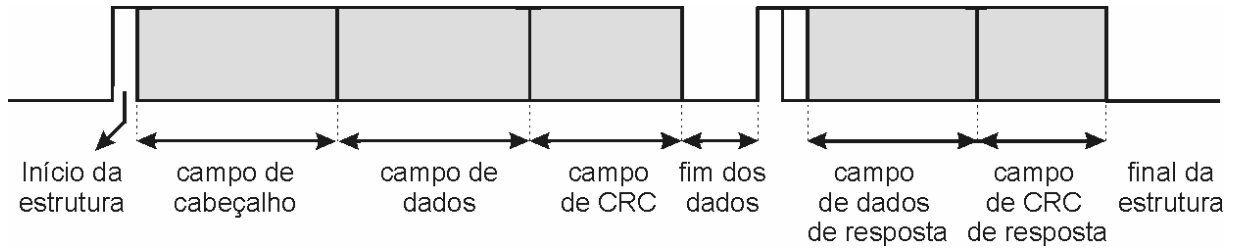


Figura 2.7 – Estrutura de mensagem do protocolo J1850.

Esses campos são descritos a seguir, sendo que a estrutura de uma mensagem do protocolo pode compreender de um a onze bytes de dados, correspondentes aos campos de cabeçalho e de dados.

#### 2.5.1.1 Início da estrutura

Este campo compreende um período pré-definido de 200 micro-segundos durante os quais o transmissor insere um sinal de nível potencial alto na rede, ou de nível ativo.

#### 2.5.1.2 Campo de cabeçalho

Este campo insere o primeiro byte na rede, e pode ser composto por um ou por três bytes, que representam informações sobre o que os nós receptores devem esperar da mensagem que estão recebendo, como a largura de bytes do próprio cabeçalho e do campo de dados.

A estrutura de um byte de cabeçalho é mostrada na figura 2.8.



Figura 2.8 – Cabeçalho do protocolo J1850.

Os bits de prioridade “P2 P1 P0” são responsáveis pela comparação entre as mensagens enviadas simultaneamente, sendo transmitida através da rede a mensagem de maior prioridade entre elas.

A mensagem “0 0 0” representa a mensagem de maior prioridade, enquanto que a mensagem “1 1 1” representa a de menor prioridade, conforme se verifica na figura 2.9, sendo que as linhas pontilhadas de cada mensagem indicam o sinal que um determinado nó iria transmitir na rede, e as linhas cheias indicam a mensagem enviada, antes de perder a arbitrariedade, e o estado real do barramento.

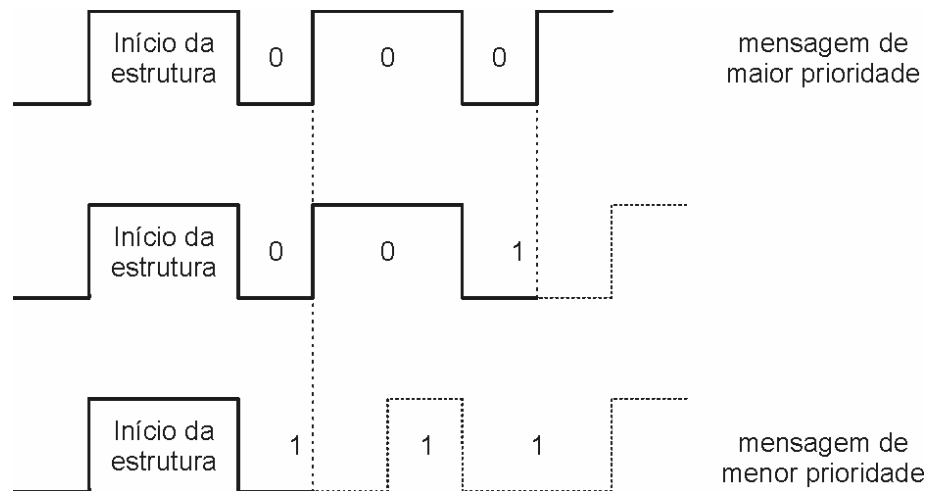


Figura 2.9 – Arbitrariedade da mensagem - bits de prioridade.

Na verdade, o nó que tenta enviar uma mensagem de menor prioridade não continua sua transmissão a partir do momento em que ele perde a arbitrariedade. Esse nó passa, a partir daí, a agir como um nó receptor, reconhecendo a mensagem presente na rede, de maior prioridade que a sua.

O bit H é identificador do tipo de cabeçalho, ou seja, identifica se o campo de cabeçalho será composto por um byte ( $H = 1$ ) ou por três bytes ( $H = 0$ ).

O bit K especifica se é esperada uma resposta dentro da estrutura ou não. Um bit  $K = 0$  indica que é solicitada uma resposta dentro da estrutura, e é esperado ao menos um campo de dados de resposta antes do final da estrutura.

O bit Y especifica o modo de endereçamento, que pode ser do tipo funcional, de maior prioridade ( $Y = 0$ ) e que efetua o endereçamento baseado no conteúdo da mensagem, ou endereçamento físico ( $Y = 1$ ), que envia uma mensagem diretamente para um determinado nó.

Os últimos dois bits especificam o tipo de mensagem, indicando, por exemplo, se o endereçamento é estendido ou não, e se a mensagem carrega dados ou não.

### 2.5.1.3 Campo de dados

O campo de dados consiste de bits cujos estados são alternados entre ativo e passivo. Para transmitir dois bits de valores iguais, o protocolo J1850 utiliza a técnica descrita anteriormente, sendo um bit alto (1) representado por um nível ativo (potencial alto) durante 64 micro-segundos, ou por um nível passivo (potencial baixo) durante 128 micro-segundos, e de forma recíproca para a representação de um bit baixo (0), efetuada através de um nível ativo durante 128 micro-segundos ou por um nível passivo durante 64 micro-segundos.

### 2.5.1.4 Controle de redundância cíclica – CRC

Após o campo de dados, há um byte de controle de erro, o qual opera de forma semelhante ao campo de mesmo nome descrito no protocolo CAN. O nó transmissor efetua um cálculo com os bytes presentes nos campos de cabeçalho e de dados, e envia o resultado anexado à mensagem, no campo de controle de redundância cíclica. Os nós receptores efetuam um cálculo com os bytes recebidos, de forma idêntica à utilizada pelo transmissor, e comparam esse resultado ao enviado neste campo. Se ambos forem idênticos, a transferência de dados foi efetuada com sucesso.

### 2.5.1.5 Fim dos dados

Após o controle de redundância cíclica, o transmissor envia um sinal de nível passivo durante 200 micro-segundos, após os quais os nós receptores podem enviar a resposta à mensagem recebida, desde que esta tenha sido requisitada. Se essa resposta não foi requerida pelo transmissor, esse sinal de nível passivo se estende a 280 micro-segundos, que indica o fim da estrutura da mensagem.

### 2.5.1.6 Resposta

Quando o transmissor requisita uma resposta, pelo menos um receptor deve responder na mesma estrutura de mensagem. Quando a mensagem requisita resposta de mais de um nó, cada um destes deve responder, seqüencialmente, conforme arbitragem da rede.

Essa resposta deve iniciar com um bit de nível ativo, para indicar o início de uma resposta, seguido de um bit de normalização, cujo estado indica se essa resposta vai constar de um campo de CRC ou não.

Logo depois, são enviados os bytes de dados referentes à resposta e o campo de CRC da resposta, se assim for determinado, até que todos os nós requisitados tenham respondido à mensagem, quando o sinal que indica o final da estrutura é estabelecido na rede.

## 2.6 Protocolo de comunicação LIN

LIN é um protocolo de comunicação serial projetado especialmente para aplicações automotivas, de forma complementar às redes principais presentes nos veículos. Trata-se de uma rede de comunicação de baixo custo que estabelece uma relação de hierarquia entre as redes de comunicação presentes em um veículo, possibilitando a integração entre praticamente todos os sistemas eletrônicos embarcados, sem acréscimo significativo de custos de produção e desenvolvimento do veículo.

Esse baixo custo característico das redes do tipo LIN se deve à sua taxa de transmissão de dados limitada, de até 20 kbps, alta sincronização entre os nós, sem a necessidade do uso de um cristal ou oscilador cerâmico em cada nó escravo, e a possibilidade de utilização de microcontroladores de baixo custo, que não apresentem funções avançadas, uma vez que a comunicação entre os nós de uma rede LIN é efetuada através de uma interface simples de comunicação serial SCI (*serial communication interface*), presente na maioria dos microcontroladores da família HC08, da Freescale, por exemplo.

O baixo custo apresentado por uma rede do tipo LIN possibilita um maior número de nós integrados à rede presente no veículo, dedicados ao controle de

sistemas que não necessitam grande quantidade de dados sendo transmitidos simultaneamente, ou resposta em tempo real. Isto faz de uma rede LIN uma alternativa muito utilizada como uma sub rede de uma rede de comunicação mais completa, como por exemplo uma rede do tipo CAN, estabelecendo-se uma rede hierárquica.

Uma rede LIN é do tipo um mestre, múltiplos escravos, e o endereçamento não é físico, mas o nó mestre envia uma estrutura de mensagem na rede, e cada nó escravo, recebendo a mensagem, decide se deve agir ou não, além de responder, se necessário, de acordo com o identificador recebido.

Essa característica estabelece que apenas o nó mestre pode iniciar uma comunicação, e portanto, não há necessidade de arbitrariedade entre as mensagens enviadas pelos nós, devido à impossibilidade de ocorrência de mensagens simultâneas na rede.

### 2.6.1 Estrutura de um byte

Antes de verificarmos a estrutura de mensagem que envolve um protocolo de comunicação LIN, é necessário entender a estrutura de um byte, uma vez que todo o byte enviado através de uma rede do tipo LIN, independentemente do campo da mensagem que o byte compõe, apresenta essa mesma estrutura.

Todo o byte inicia com um bit de início, de estado dominante, e termina com um bit de final, de estado recessivo.

Os bits enviados entre esses dois bits delimitadores representam o valor do byte enviado à rede, sendo que o primeiro bit enviado é o bit menos significativo, e o último é o bit mais significativo, sendo identificados na figura 2.10.

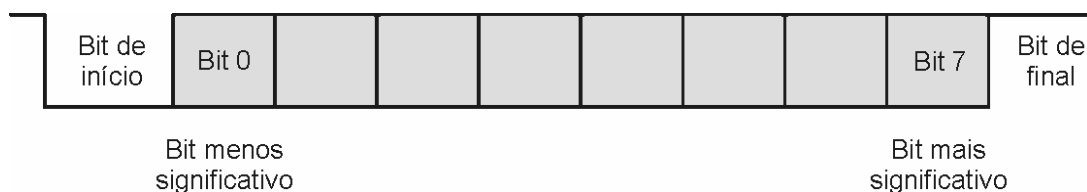


Figura 2.10 – Estrutura de envio de um byte.

Conhecida a estrutura de um byte, fica mais fácil analisar a estrutura de envio de toda a mensagem através da rede.

### 2.6.2 Estrutura da mensagem

A estrutura de uma mensagem de protocolo LIN é composta, basicamente, pelos campos identificados na figura 2.11, e descritos separadamente abaixo, sendo que apenas o nó mestre tem a capacidade de enviar um cabeçalho através da rede, e qualquer nó pode enviar uma resposta, de acordo com o identificador presente no cabeçalho.

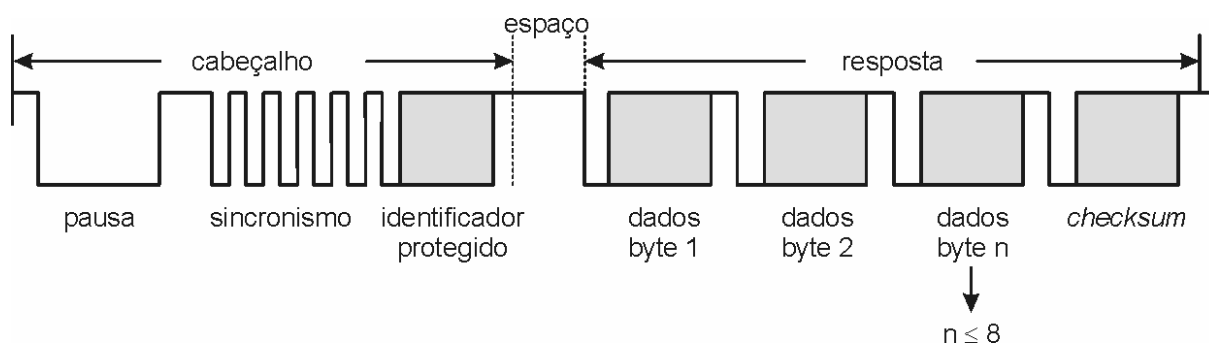


Figura 2.11 – Estrutura de uma mensagem do tipo LIN.

#### 2.6.2.1 Campo de pausa

Toda estrutura de uma mensagem LIN começa com um campo de pausa gerado pelo nó mestre, que indica o início da transmissão de uma nova mensagem. Esse campo é composto por 13 bits de valor dominante, que prepara os nós escravos para entrarem em sincronismo com a rede.

#### 2.6.2.2 Campo de sincronismo

O campo de sincronismo é responsável pela sincronia entre todos os nós conectados à rede LIN, de forma que todos operem com a mesma taxa de transferência de bits. Esse campo consta de um byte cujo estado varia entre

dominante e recessivo, seqüencialmente, ou seja, um byte de valor 0x55 (valor 55, na base hexadecimal).

Como toda a estrutura de um byte no protocolo LIN, o byte de sincronismo inicia com um bit de início, de estado dominante, segue com os bits que representam, no caso, o valor 0x55, desde o bit menos significativo até o mais significativo, e termina com um bit de final, de estado recessivo, conforme descrito na figura 2.12.



Figura 2.12 – Byte de sincronização.

### 2.6.2.3 Campo de identificação

O campo de identificação consta de um byte cujos 6 primeiros bits são chamados identificadores, e os outros 2 são bits de paridade, conforme identificados na figura 2.13.

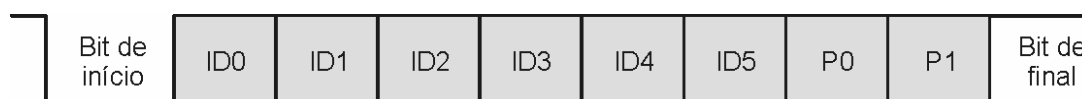


Figura 2.13 – Campo de identificação de uma rede LIN.

A combinação dos 6 bits identificadores resulta na possibilidade de 64 mensagens diferentes ( $2^6$ ), embora 4 destas sejam reservadas para mensagens pré-definidas, como transmissão de diagnóstico.

O identificador apresenta informações a respeito do nó transmissor, do(s) receptor(es), do objetivo da mensagem e do número de bytes que compõe o campo de dados. Cada nó, inclusive o mestre, recebe o identificador e determina se irá receber ou enviar dados de resposta, ou simplesmente não agir.

Os 2 bits de paridade resultam de duas equações entre os 6 primeiros bits do identificador, descritas a seguir, para que cada nó possa verificar a integridade dos bits de identificação recebidos, evitando ocorrência de erros de transmissão e recepção.

$$\begin{array}{c}
 P0 ? ID0 ? ID1 ? ID2 ? ID4 \\
 \hline
 P1 ? ID1 ? ID3 ? ID4 ? ID5
 \end{array}$$

#### 2.6.2.4 Campo de dados – resposta

O campo de dados é composto por um número variado de bytes, podendo apresentar dois, quatro ou oito bytes, de acordo com o identificador. Cada byte de dados é transmitido através de um campo de byte, ou seja, deve constar de um bit de início e um bit de final, assim como os bytes que compõe o campo de identificação e de sincronismo, descritos acima.

#### 2.6.2.5 *Checksum*

Este campo é responsável pela verificação de erros, através de um equacionamento efetuado utilizando os bytes enviados no campo de dados e no identificador.

Os nós que recebem a mensagem efetuam um equacionamento idêntico ao efetuado pelo transmissor, e comparam o resultado do seu equacionamento com o byte recebido no campo de *checksum*. Sendo ambos os valores iguais, a transação obteve êxito, e caso contrário, ocorreu algum erro durante a transmissão ou a recepção da mensagem.

Assim como no protocolo CAN, o protocolo LIN apresenta mais de uma versão, sendo as mais utilizadas as versões LIN 1.3 e LIN 2.0.

Para comunicação com nós escravos do tipo LIN 1.3, o cálculo do *checksum* é efetuado utilizando-se apenas os bytes do campo de dados, e é chamado de *checksum* clássico.

O *checksum* aperfeiçoado é característico de nós do tipo LIN 2.0, e utiliza o byte do identificador, além dos bytes de dados, para efetuar o cálculo de verificação de integridade da mensagem.



## 2.7 Conclusão

Neste capítulo foi efetuada uma abordagem a respeito dos diversos protocolos de comunicação existentes dedicados a aplicações automotivas, sendo descritos alguns dos padrões mais conhecidos e mais difundidos no mercado automobilístico mundial na atualidade.

Após análise efetuada a respeito da funcionalidade desses protocolos, e de uma pesquisa de mercado efetuada, foi verificado que o protocolo de comunicação CAN é muito utilizado por montadoras brasileiras, no controle de sistemas eletrônicos embarcados presentes em ônibus rodoviários, principalmente devido à sua versatilidade e possibilidade de controle de sistemas complexos em tempo real, com uma velocidade de resposta muito rápida.

Além disso, o protocolo de comunicação CAN é o mais adequado para controle de todos os sistemas eletrônicos embarcados em um ônibus rodoviário devido à possibilidade de ocorrência de um número muito grande de identificadores de mensagem distintos, correspondendo às diversas necessidades apresentadas por esses veículos.

A existência de uma gama de microcontroladores que apresentam as funções básicas necessárias ao desenvolvimento de uma rede CAN é outro fator decisivo na sua utilização.

Ainda, a utilização do protocolo LIN está em plena expansão, principalmente como um protocolo secundário, estabelecendo-se uma sub-rede de uma rede principal, de protocolo CAN, proporcionando redução dos custos envolvidos no desenvolvimento e implementação de tais redes e tornando viável a integração de muitos sistemas eletrônicos embarcados.

O sistema apresentado nesta dissertação trata da confecção de uma rede de comunicação do tipo LIN, por se tratar de uma rede com taxa de transmissão de dados suficiente para a aplicação requerida, apresentando um custo por nó relativamente baixo e por sua característica conhecida como *Plug & Play*, devido ao endereçamento do tipo funcional.

Ainda, a escolha adequada dos componentes utilizados no desenvolvimento do sistema torna possível que o mesmo seja inserido em uma rede de comunicação CAN. O sistema, controlado por uma rede do tipo LIN, se comporta como uma sub-

rede da rede do tipo CAN, como sendo um nó escravo ligado à mesma, com todas as suas funções.

Essa possibilidade facilita a inserção do sistema proposto no mercado atual de montadoras de ônibus rodoviários, uma vez que muitas montadoras já adotam a utilização de uma rede com protocolo de comunicação CAN para controle da maioria dos sistemas eletrônicos embarcados.

## DESCRIÇÃO DO SISTEMA

---

### 3.1 Introdução

Este capítulo descreve detalhadamente a funcionalidade do sistema proposto. Para isso, são utilizados diagramas de estado e fluxogramas descritivos da interface entre o sistema e o usuário. As várias possibilidades de ignição e controle do sistema de iluminação são observadas, bem como a forma como estas são efetuadas.

Ainda, este capítulo trata da escolha dos componentes utilizados no desenvolvimento do sistema, desde a escolha dos LED's adequados à aplicação até a escolha dos microcontroladores envolvidos no estabelecimento da rede de comunicação entre o painel de controle e os terminais de iluminação.

Ao final do capítulo é feita uma abordagem da operacionalidade dos programas utilizados nos microcontroladores utilizados, de forma a estabelecer a comunicação entre os mesmos.

### 3.2 Generalidades do sistema

O sistema proposto trata de um sistema inteligente de iluminação semicondutora para aplicação em interiores de ônibus, tendo por finalidade o acionamento e controle de intensidade luminosa das fontes de iluminação distribuídas no corredor do veículo. O controle é realizado de forma independente, de acordo com as necessidades específicas encontradas em cada situação.

A iluminação interior de um ônibus trata não apenas da iluminação principal, ou da iluminação ambiente do corredor, mas também dos pontos individuais de iluminação de leitura e do sistema de posicionamento, que auxilia o deslocamento

dos passageiros ao longo do corredor, quando o sistema principal se encontra em estado inativo, sem causar desconforto aos passageiros durante viagens noturnas.

Todo o sistema de iluminação é controlado a partir de um painel de controle central situado em local estratégico, ao alcance do motorista, com uma interface simples que indica o estado atual do sistema e permite a configuração de cada estado. Esse painel possibilita, ainda, a detecção de defeitos na operação de qualquer terminal ligado à rede.

Inicialmente é abordado o circuito de alimentação dos LED's, que possibilita variação da intensidade luminosa, para posteriormente analisar o sistema de controle do mesmo.

### **3.3 Escolha dos LED's apropriados**

Como existem vários encapsulamentos diferentes de LED's, é necessário optar pelo tipo de LED com características que mais se adaptem às necessidades de cada aplicação.

No sistema proposto, são utilizados mais de um tipo de LED, uma vez que o sistema envolve tanto a iluminação geral do corredor do ônibus como a iluminação individual (de leitura) e a iluminação de sinalização do corredor. Os LED's utilizados no sistema de iluminação de leitura devem apresentar um feixe luminoso dirigido, enquanto que na iluminação geral é mais indicada a utilização de LED's com feixe luminoso distribuído.

O LED utilizado no sistema de iluminação geral é o LHXL-PW01, da Luxeon, composto de InGaN, que apresenta um ângulo de abertura do feixe luminoso de aproximadamente  $160^\circ$ , medidos com 10% de intensidade luminosa máxima, e apresenta uma intensidade luminosa de 50% da máxima a aproximadamente  $140^\circ$  de abertura, como é verificado na figura 3.1, que representa o diagrama do ângulo de abertura do feixe luminoso desse LED.

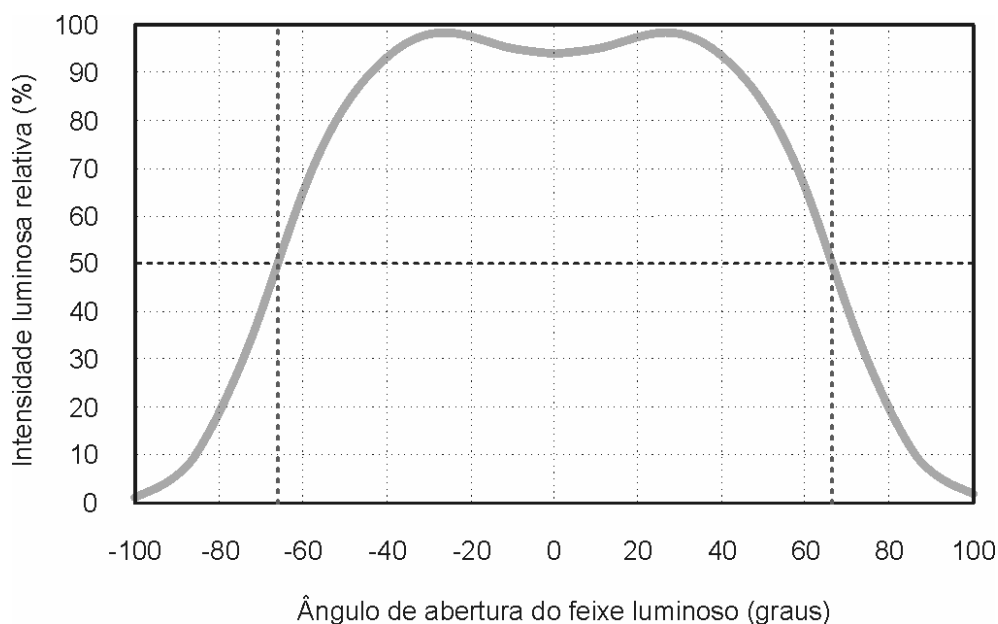


figura 3.1 – Distribuição do fluxo luminoso no espaço.

O fluxo luminoso típico apresentado por esse LED é de 25 lumens, quando operado com corrente de polarização direta de 350 mA. Nessa condição, a temperatura de cor apresentada é de cerca de 5500K, o índice de reprodução de cores apresentado é de aproximadamente 70%, e a queda de tensão direta pode variar entre aproximadamente 2,8V e 4,0V, dependendo da temperatura de junção apresentada.

A figura 3.2 apresenta uma foto desse LED, e a cor branca do feixe luminoso emitido é caracterizada na figura 3.3, que representa a intensidade luminosa normalizada, para diferentes comprimentos de onda no espectro.

A variação do fluxo luminoso emitido pode ser efetuada a partir do controle da corrente de polarização direta, conforme é verificado na figura 3.4.

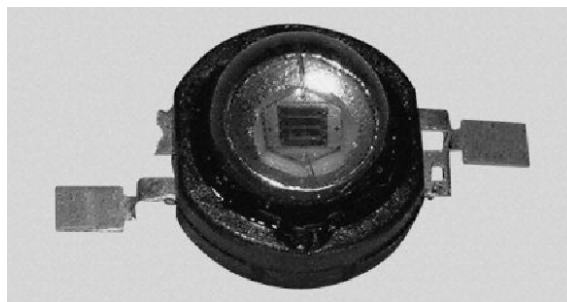


Figura 3.2 – LED Luxeon Emitter.

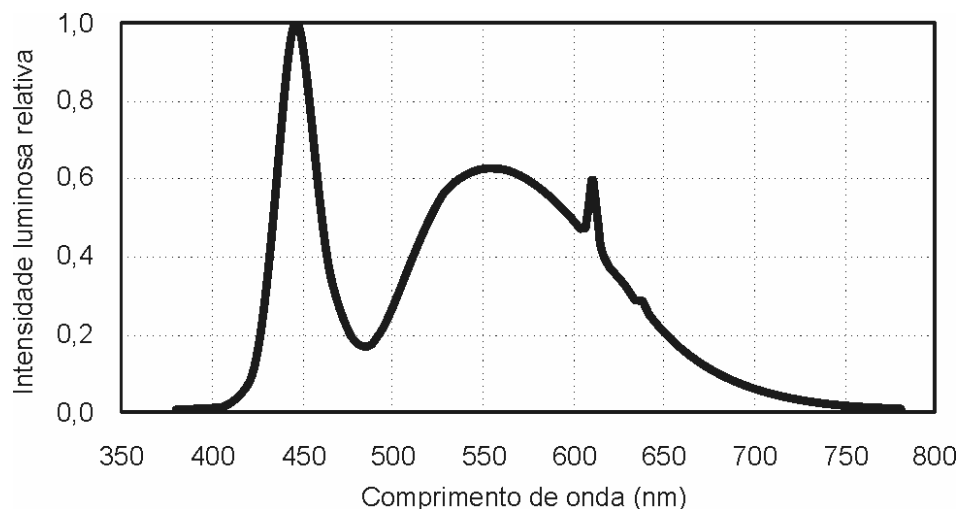


figura 3.3 – Distribuição do fluxo luminoso no espectro.

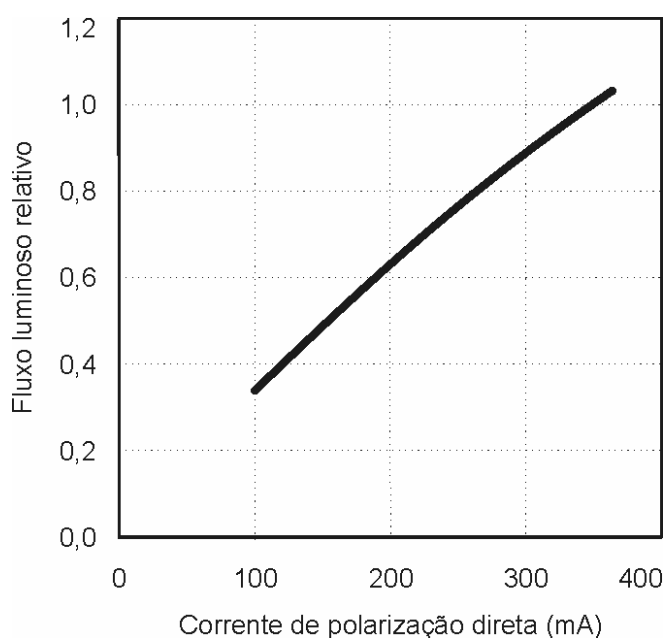


Figura 3.4 – Controle do fluxo luminoso através da corrente de polarização.

No sistema de iluminação individual de leitura, são utilizados LED's com feixe luminoso dirigido, cujo ângulo de abertura deve ser estreito, de forma a dispensar a utilização de lentes refletoras em cada terminal. O LED utilizado é o L5T3UW5C-D1, da PARA Light Electronics Co., Ltd. Esse LED é composto de GaInN/GaN, possui encapsulamento de 5 mm, semelhante aos LED's tradicionais, de sinalização, e apresenta uma intensidade luminosa máxima de aproximadamente 7000 mcd (mili-candelas), com 30 mA de corrente de polarização direta. O ângulo de abertura do feixe luminoso emitido por esse LED é de cerca de 30°, a 50% de intensidade luminosa máxima, como é verificado na figura 3.5, que representa o

diagrama do ângulo de abertura do feixe luminoso, sendo destacada a curva característica de abertura do feixe luminoso correspondente a 50% do fluxo máximo, obtido no eixo de luminosidade.

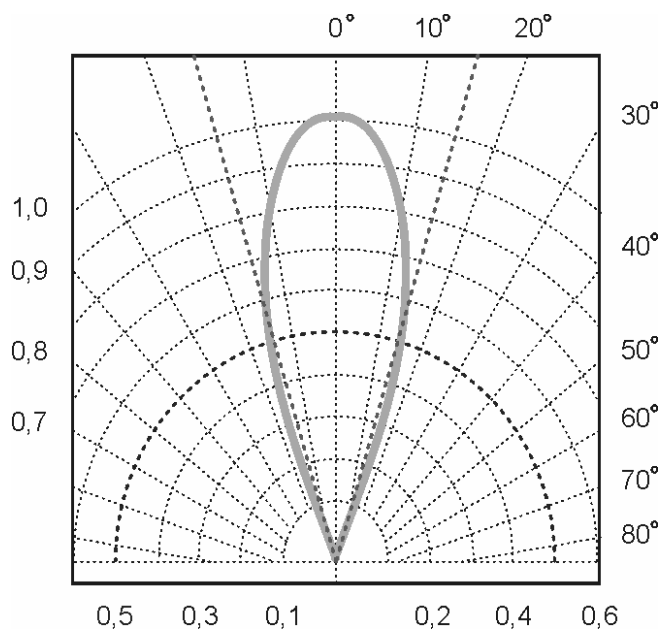


Figura 3.5 – Ângulo de abertura do feixe luminoso.

A distribuição do feixe luminoso no espectro visível é representada na figura 3.6, que caracteriza a intensidade luminosa normalizada, com relação a diferentes comprimentos de onda, e a possibilidade de controle da intensidade luminosa é representada na figura 3.7, que corresponde à intensidade luminosa *versus* corrente de polarização direta.

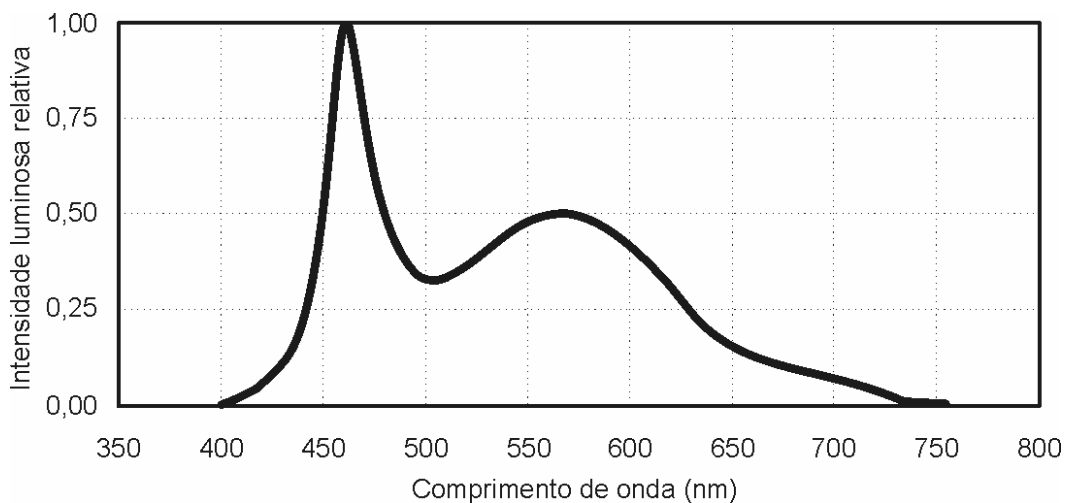


Figura 3.6 – Distribuição do fluxo luminoso relativo no espectro.

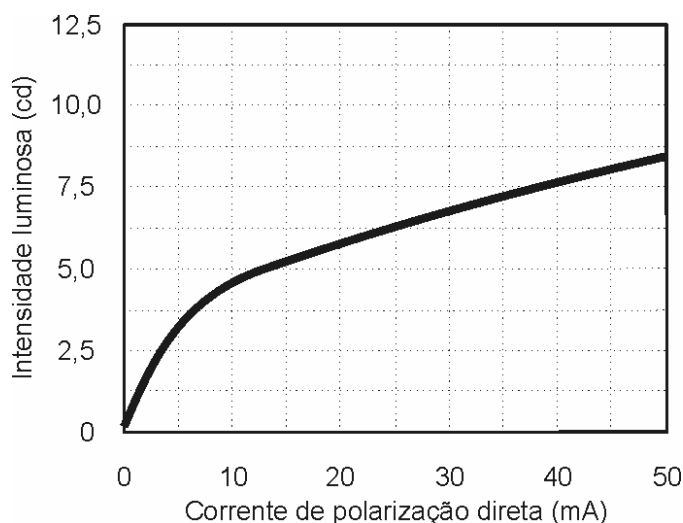


Figura 3.7 – Variação da intensidade luminosa, com relação à corrente de polarização.

Os diferentes tipos de LED's utilizados na implementação do sistema apresentam a mesma técnica de produção de feixe luminoso de cor branca. A cor branca obtida por esses LED's é o resultado da utilização de LED's azuis recobertos por uma camada de fósforos de cor amarelada, por se tratar da técnica mais utilizada para obtenção de luz branca a partir de dispositivos de iluminação semicondutora. Ainda, esses LED's apresentam maior eficácia luminosa e menor custo, quando comparados a LED's brancos que utilizam outras técnicas para obtenção de fluxo luminoso branco, o que justifica sua utilização.

### 3.4 Sistema de acionamento dos LED's

O controle do fluxo luminoso emitido por um LED é efetuado através da variação de sua corrente de polarização direta.

Esse controle pode ser efetuado através da manipulação de uma corrente contínua através do LED, ou utilizando-se uma onda retangular de tensão para controlar a corrente média de polarização do LED, através de uma modulação por largura de pulsos (PWM).

Na presente proposta, foi utilizada a segunda alternativa, por ser mais atraente à aplicação destinada, e o controle da largura de pulsos é efetuado diretamente a partir dos microcontroladores utilizados nos terminais de iluminação. O



controle sobre a razão cíclica da tensão aplicada à base do transistor resulta em um controle sobre a intensidade luminosa emitida pelo arranjo de LED's.

Para efetuar esse controle, a tensão de base do transistor é controlada diretamente pelo microcontrolador, que gera um sinal modulado por largura de pulsos. O transistor bipolar *npn* utilizado opera na sua região linear de polarização, com uma configuração do tipo emissor-comum, de forma a limitar a corrente máxima de polarização do arranjo de LED's.

O ganho de corrente apresentado pelo transistor deve ser tal que o valor máximo de corrente aplicado à base do transistor (razão cíclica igual a 1,00) resulte em uma corrente de coletor cujo valor é igual ao valor nominal da corrente de polarização direta do LED, conforme figura 3.8.

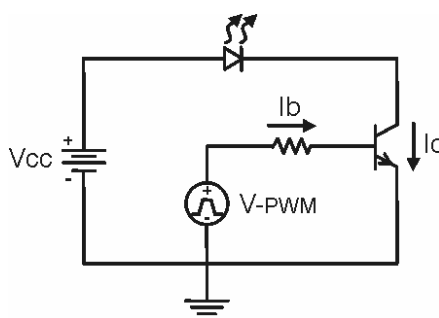


Figura 3.8 – Circuito para alimentação de um LED.

Considerando que a intensidade luminosa de um LED é proporcional à sua corrente de polarização direta, optou-se pela utilização de um arranjo de LED's do tipo série, reduzindo o número de componentes presentes no sistema e garantindo uma corrente de polarização direta e intensidade luminosa iguais para cada LED do arranjo.

Ainda, a utilização desse arranjo proporciona a utilização da tensão  $V_{bat}$  da bateria do ônibus, eliminando-se a necessidade de inserção de um conversor ao sistema, conforme figura 3.9.

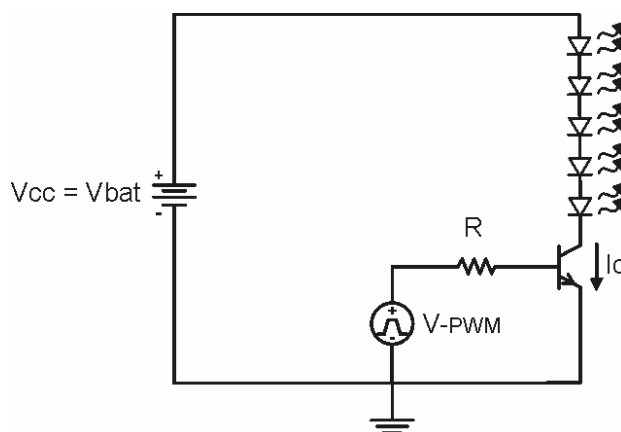


Figura 3.9 – Circuito de alimentação aplicado a um arranjo dos LED's.

Vale ressaltar que o emprego de um conversor CA/CC se faz necessário para a aplicação de LED's em sistemas de iluminação alimentados a partir da rede elétrica, e possibilita a adaptação do sistema proposto a aplicações em corredores de prédios, por exemplo, com a simples inserção de um conversor ao sistema.

A utilização de um microcontrolador ligado diretamente à corrente de polarização do conjunto de LED's possibilita o controle total sobre a intensidade luminosa dos LED's, desde seu acionamento até o controle de sua intensidade luminosa em estado de regime permanente. Esse controle é efetuado levando-se em consideração a leitura de iluminância do ambiente, por um sensor de luminosidade ligado diretamente ao microcontrolador, de forma a garantir uma luminosidade constante no ambiente e utilizar a iluminação natural para reduzir o consumo de energia, quando possível.

### 3.5 Escolha do transistor

O controle da corrente de polarização direta do arranjo série de LED's, como já mencionado, é efetuado a partir do controle da corrente de base de um transistor bipolar, com configuração emissor-comum, operando na região linear, de forma a garantir a corrente adequada aos LED's.

A corrente de coletor que esse transistor deve suportar é a corrente nominal dos LED's conectados, sendo que a variação da intensidade luminosa é efetuada através do controle da razão cíclica da corrente de base do transistor.

Para possibilitar a análise do comportamento de alguns transistores, foi utilizado um circuito que possibilita a obtenção das curvas de corrente de coletor *versus* tensão de coletor, para diferentes valores de corrente de base, conforme descrito na figura 3.10.

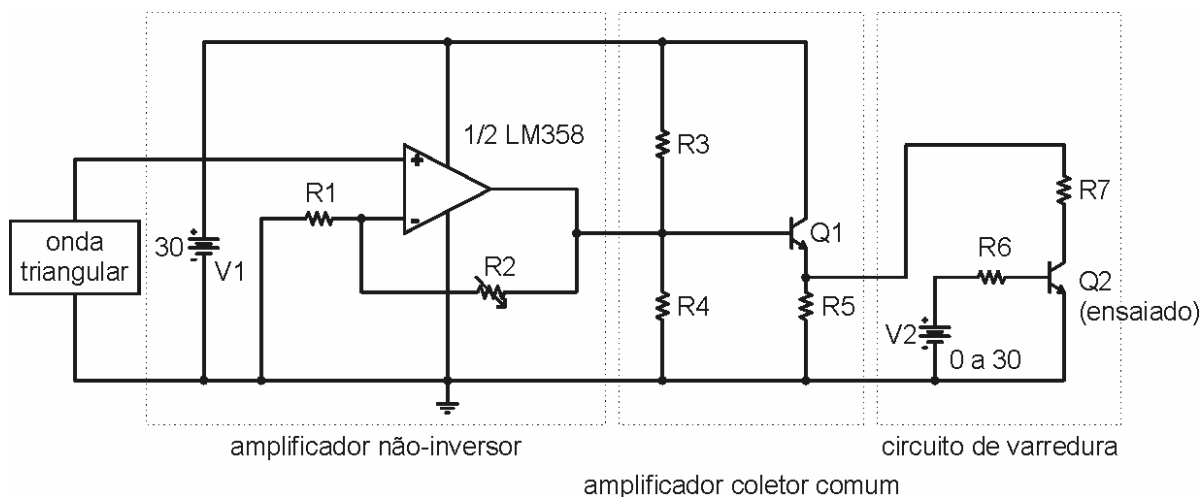


figura 3.10 – Circuito para análise de transistores.

Foram analisados vários transistores bipolares para essa função, sendo que as curvas de corrente de coletor  $I_C$  *versus* tensão de coletor  $V_{CE}$  de alguns desses transistores são apresentadas nas figuras a seguir, para diferentes valores de corrente de base  $I_B$  a que cada transistor foi submetido. A figura 3.11 descreve as curvas de polarização de um transistor PN2222A, a figura 3.12, de um transistor BC546B, e a figura 3.13 descreve as curvas características de polarização de um transistor BD137.

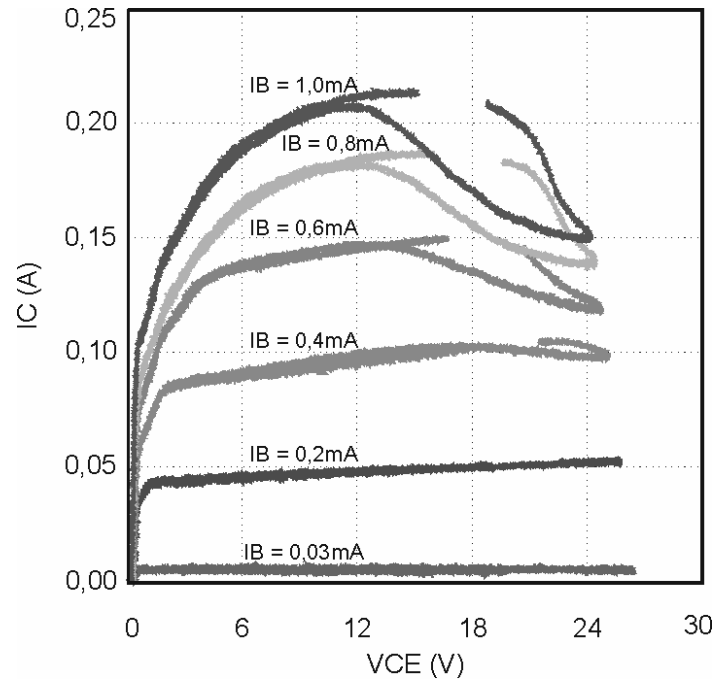


Figura 3.11 – Curvas de polarização de um transistor PN2222A.

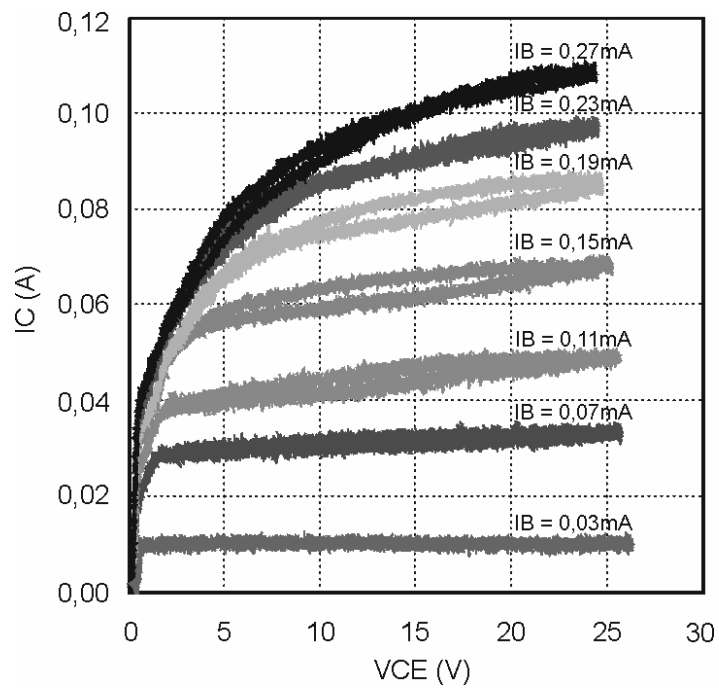


Figura 3.12 – Curvas de polarização de um transistor BC546B.

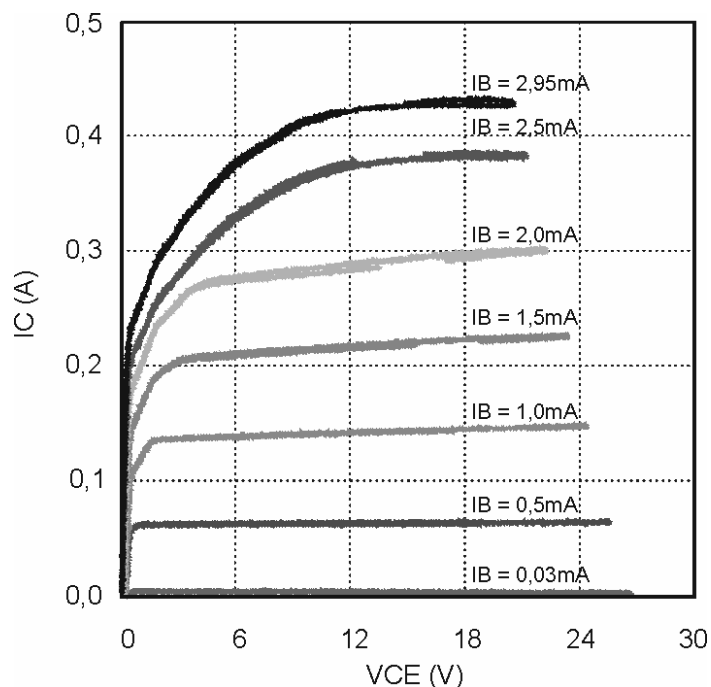


Figura 3.13 – Curvas de polarização de um transistor BD137.

Após análise de vários transistores, foi verificado que o BD137 é o mais indicado para essa aplicação, por apresentar um ganho de corrente aproximadamente linear, até mesmo quando submetido a níveis altos de corrente de polarização, suportando os níveis de corrente de coletor necessários à polarização direta dos LED's utilizados com corrente nominal.

### 3.6 Sensor de luminosidade

O sensor de luminosidade possibilita que um nível pré-determinado de iluminância seja garantido no ambiente, fazendo-se valer da iluminação natural presente no mesmo, de forma a otimizar o consumo de energia elétrica, em situações que há iluminação natural.

O sensor utilizado no presente sistema é um LDR (*light dependent resistor*), ou seja, um resistor dependente de luz. Esse componente tem sua resistência alterada de forma inversamente proporcional ao nível de incidência luminosa sobre o mesmo, ou seja, apresenta uma resistência elevada na ausência de luz, e uma resistência menor, quanto maior a incidência luminosa a que é submetido.

As curvas de sensibilidade apresentadas por este tipo de sensor se assemelham às curvas de visão humana, além da robustez e do custo reduzido, que tornam este dispositivo ideal para a aplicação proposta.

Para tornar possível a leitura da luminosidade ambiente por um nó escravo, ou seja, para tornar possível ao microcontrolador reconhecer a variação da resistência desse sensor de luminosidade, deve-se proceder de forma a inserir um sinal de tensão, proporcional a essa resistência, à porta do conversor A/D do microcontrolador.

O circuito utilizado é descrito na figura 3.14, que se trata na verdade de um divisor resistivo, ou seja, quanto menor o índice de luminosidade, maior a resistência equivalente apresentada pelo sensor de luminosidade, maior a queda de tensão sobre ele, e maior o nível de tensão aplicado à porta do conversor A/D do microcontrolador. Essa tensão pode variar de 0V a 5 V, conforme figura 3.14, e está de acordo com os limites suportados pelo conversor A/D, que converte 5V em um sinal 0xFF e 0V em um sinal 0x00.

O capacitor C é utilizado para reduzir a sensibilidade a variações de luminosidade pelo sensor, evitando variações bruscas da tensão aplicada ao conversor A/D do microcontrolador, e do nível de luminosidade proveniente dos conjuntos de LED's.

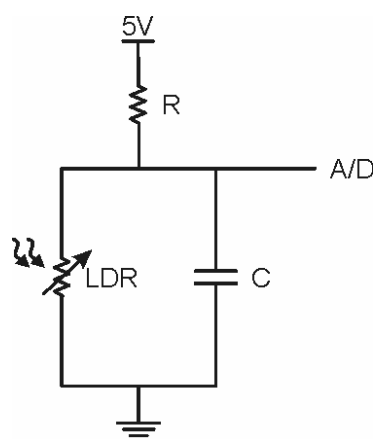


Figura 3.14 – Circuito do sensor de luminosidade.

### 3.7 Escolha dos microcontroladores

Para estabelecimento da rede de comunicação entre a central de controle e os terminais de LED's, é necessária a utilização de microcontroladores que apresentem características específicas para essas aplicações.

Neste caso, é utilizado um microcontrolador que opera como um mestre da rede LIN, que gerencia todo o tipo de comunicação e estabelece uma integração com a rede CAN, e um microcontrolador em cada terminal de iluminação, operando como um escravo do microcontrolador central, respondendo às atividades de acordo com as mensagens enviadas por este.

Como todos os nós do tipo escravo ligados à rede LIN devem operar de forma semelhante e, conseqüentemente, apresentar características semelhantes, todos são compostos de microcontroladores iguais. Porém, como o nó mestre deve ser capaz de operar situações mais complexas que os escravos, além de estabelecer uma conexão com uma rede CAN, o microcontrolador responsável por essa tarefa deve apresentar um acréscimo significativo de funções com relação aos escravos.

As características básicas requeridas por um microcontrolador com tarefa de escravo são:

- ✍ Presença de memória flash, que possibilita a gravação do programa referente ao protocolo de comunicação e à aplicação;
- ✍ Possibilidade de geração de um sinal de PWM, para alimentação do conjunto de LED's;
- ✍ Interface de comunicação serial, necessária para se estabelecer uma comunicação entre os nós ligados à rede.

O microcontrolador escolhido para tal aplicação é o MC68HC908QY4, da Freescale Semiconductor, Inc., que embora não apresente uma interface de comunicação serial, possibilita que esta seja efetuada através de programação, utilizando-se uma porta do temporizador como entrada do sinal da rede, ou receptor, e uma porta de propósitos gerais como saída, ou transmissor.

Algumas das principais características desse microcontrolador, utilizado como escravo da rede LIN, são descritas a seguir:

- ✍ 4 kbytes de memória flash;

- ✍ 128 bytes de memória RAM;
- ✍ Temporizador de dois canais – TIMCH0 e TIMCH1, com capacidade de geração de sinal modulado por largura de pulsos (PWM);
- ✍ Oscilador interno, que pode ser utilizado para aplicação na rede LIN, devido ao campo de sincronismo presente em uma estrutura de mensagem LIN, que permite utilização de um oscilador com baixa precisão nos nós escravos;
- ✍ Freqüência interna de cerca de 3,2 MHz, utilizando oscilador interno;
- ✍ Uma porta de propósitos gerais de 8 bits, não compartilhada;
- ✍ 4 canais de conversor A/D.

Um nó com a função de exercer as tarefas de nó mestre, em uma rede do tipo LIN, deve ser capaz de exercer todas as funções necessárias a um nó do tipo escravo, além de algumas características como:

- ✍ Possibilidade de conexão com outro protocolo de comunicação mais complexo;
- ✍ Maior espaço de memória, devido à programação mais completa;
- ✍ Necessidade de temporização mais precisa.

No sistema proposto, o microcontrolador utilizado como controlador do nó mestre é um MC68HC908GZ60, da Freescale, que apresenta módulo de comunicação serial e módulo controlador de comunicação implementando protocolo CAN 2.0, que é específico para aplicação do microcontrolador a uma rede do tipo CAN, eliminando a necessidade de utilização de programação para efetuar determinadas funções, destinadas à transferência de dados através da rede CAN.

Algumas das principais características desse microcontrolador são as seguintes:

- ✍ 60 kbytes de memória flash;
- ✍ 2048 bytes de memória RAM;
- ✍ 2 temporizadores, sendo um de 2 canais e outro de 6 canais, ambos com capacidade de geração de PWM;
- ✍ Freqüência interna de 8 MHz, obtida a partir da utilização de um cristal com freqüência de 1 MHz até 8 MHz, através de um multiplicador de freqüência interna (PLL);
- ✍ 53 portas de propósitos gerais, sendo 40 portas compartilhadas com os canais de temporização, conversor A/D, módulo CAN, interface serial e interrupções;
- ✍ Conversor A/D de 24 canais;



- ✍ Módulo controlador dedicado à comunicação com uma rede CAN – MSCAN08;
- ✍ Módulo de interface com periférico serial – SPI;
- ✍ Módulo de comunicação serial – ESCI.

### 3.8 Interface física de transferência de dados

Os microcontroladores, utilizados para estabelecer comunicação através da rede, não são conectados diretamente ao barramento da mesma. É necessária a utilização de uma interface física em cada nó ligado à rede, de forma a garantir que o sinal apresente um nível de tensão adequado e, conseqüentemente, uma transmissão correta dos bits.

A interface física para o barramento LIN utilizada no sistema desenvolvido é um MC33399, da Freescale Semiconductor, Inc., que é um circuito integrado dedicado a esse propósito, especialmente para aplicações automotivas. Sua alimentação pode ser efetuada diretamente a partir de uma bateria, pois esse componente opera normalmente com tensão de 7V a até 27V, e apresenta uma velocidade de comunicação de até 20 kbps. O MC33399 apresenta ainda a capacidade de entrada em modo de espera, no qual a transmissão é desabilitada, evitando consumo desnecessário de energia elétrica. Qualquer atividade através da rede LIN habilita o pino *wake up* e o circuito integrado sai do modo espera.

Um diagrama esquemático de um microcontrolador conectado a uma rede LIN através de um MC33399 é mostrado na figura 3.15, que identifica a diferença entre a interface utilizada em um nó escravo e a interface utilizada em um nó mestre. O circuito pontilhado é presente apenas no nó mestre.

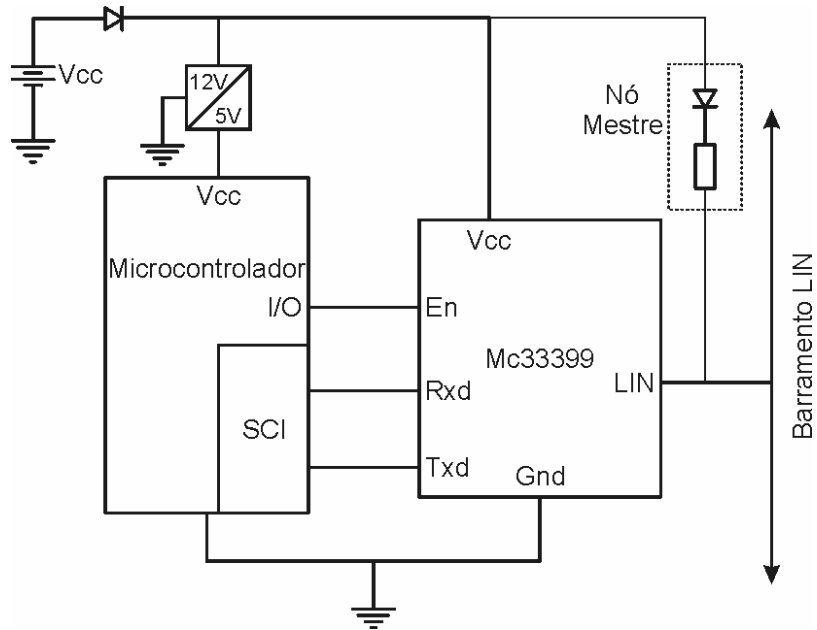


Figura 3.15 – Interface física entre um microcontrolador e a rede LIN.

Para comunicação com a rede CAN, o nó mestre deve apresentar, além da interface com a rede LIN, uma interface com a rede CAN. Essa interface é implementada a partir da utilização de um MC33388, da Freescale Semiconductor, Inc., ligado ao microcontrolador com tarefa de mestre na rede LIN. Um diagrama esquemático dessa interface é mostrado na figura 3.16.

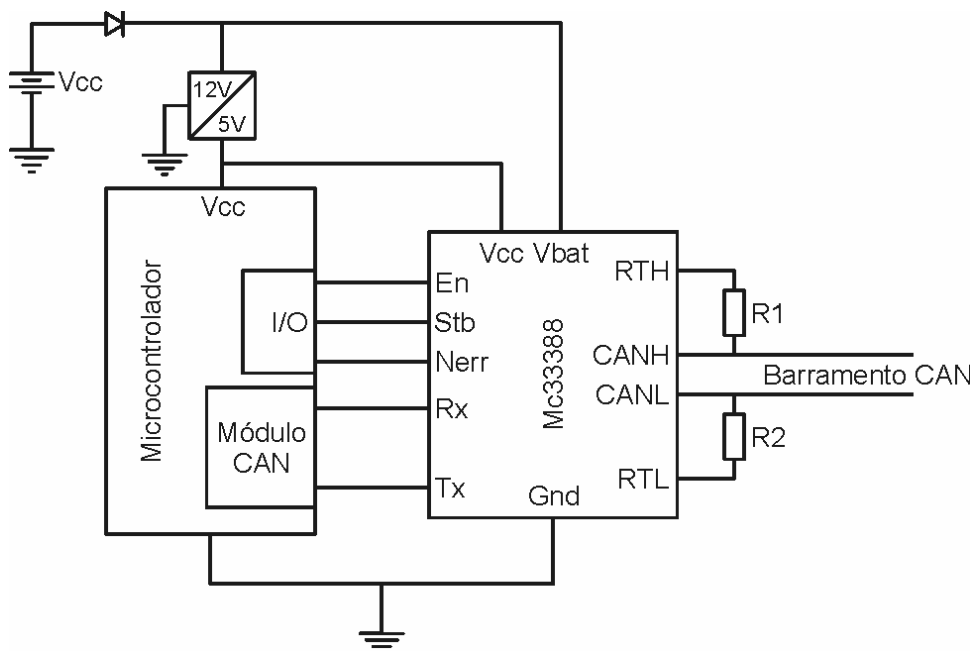


Figura 3.16 – Interface física entre um microcontrolador e a rede CAN.

### 3.9 Controle do sistema de iluminação

O sistema proposto é responsável pelo controle de todos os terminais de iluminação inseridos no interior de um ônibus.

O controle desses terminais é efetuado a partir de um comando central, ligado ao nó mestre da rede LIN que, por sua vez, envia as mensagens aos nós escravos, para que estes operem de acordo com as configurações efetuadas pelo usuário no controle central.

Um diagrama descritivo do painel de controle é mostrado na figura 3.17. O painel é composto por um display de cristal líquido (LCD) com *backlight* e duas linhas de 16 caracteres cada, que indica o estado do sistema de iluminação e auxilia na configuração do sistema. Os outros itens presentes no painel são quatro botões, chamados liga, desliga, mais (+) e menos (-), cujas funções são descritas a seguir, e um interruptor geral.

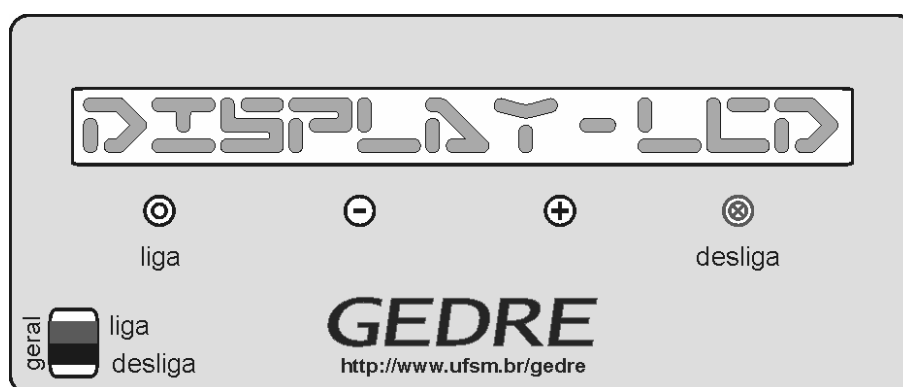


Figura 3.17 – Painel de controle central.

#### 3.9.1 Sistemas de iluminação

Como já mencionado, o interior de um ônibus é iluminado por diferentes sistemas, cujas finalidades diferem entre si, e cada um deve ser controlado de forma independente.

O sistema de iluminação central é responsável pela iluminação ambiental do corredor do ônibus. Os terminais de iluminação correspondentes a esse sistema têm sua intensidade luminosa variada de forma gradativa, tanto quando os LED's são acionados, como quando são desligados, de forma a reduzir o choque visual que

ocorre quando uma lâmpada é acionada em sua potência nominal, ou quando esta é desligada instantaneamente.

O nível de luminosidade do ambiente, quando os terminais se encontram em estado de regime permanente, é controlado através da configuração efetuada no controle central e pelo sensor de luminosidade, presente em cada terminal de iluminação central.

Outro sistema de iluminação presente no interior de um ônibus é o sistema de sinalização, situado no chão ao longo do corredor do mesmo, e que fornece a iluminação necessária para auxiliar no deslocamento de passageiros no interior do ônibus.

O terceiro sistema de iluminação presente no interior de um ônibus é o sistema de iluminação individual, destinado à leitura. Esse sistema é composto por LED's situados sob cada poltrona do ônibus, com comando independente para cada usuário. Diferentemente dos outros dois sistemas descritos, este não é acionado diretamente pelo comando central, que tem a capacidade de apenas tornar ativo ou inativo esse sistema. O acionamento dos terminais é efetuado individualmente, através do comando situado acima de cada poltrona do ônibus.

Para facilitar a operação para o usuário do sistema, são definidos 5 estados pré-configurados de iluminação, sendo eles:

- ✍ Viagem noite;
- ✍ Parada Noite;
- ✍ Viagem dia;
- ✍ Parada dia;
- ✍ Desativado.

Em cada um desses estados de configuração, os sistemas se comportam de forma pré-determinada, de acordo com as necessidades de cada situação. Ainda, a inserção de novos estados pode ser efetuada, de acordo com as necessidades do cliente.

### 3.9.2 Diagramas de estados do sistema

O sistema completo pode ser representado por diagramas de estados, de forma a proporcionar um melhor entendimento do funcionamento geral do mesmo, além de possibilitar a análise das transições entre os estados.

O diagrama da figura 3.18 representa os estados de operação do sistema, cujo controle é realizado pelo usuário a partir do painel central, e os estados correspondem às atividades efetuadas pelo nó mestre da rede LIN.

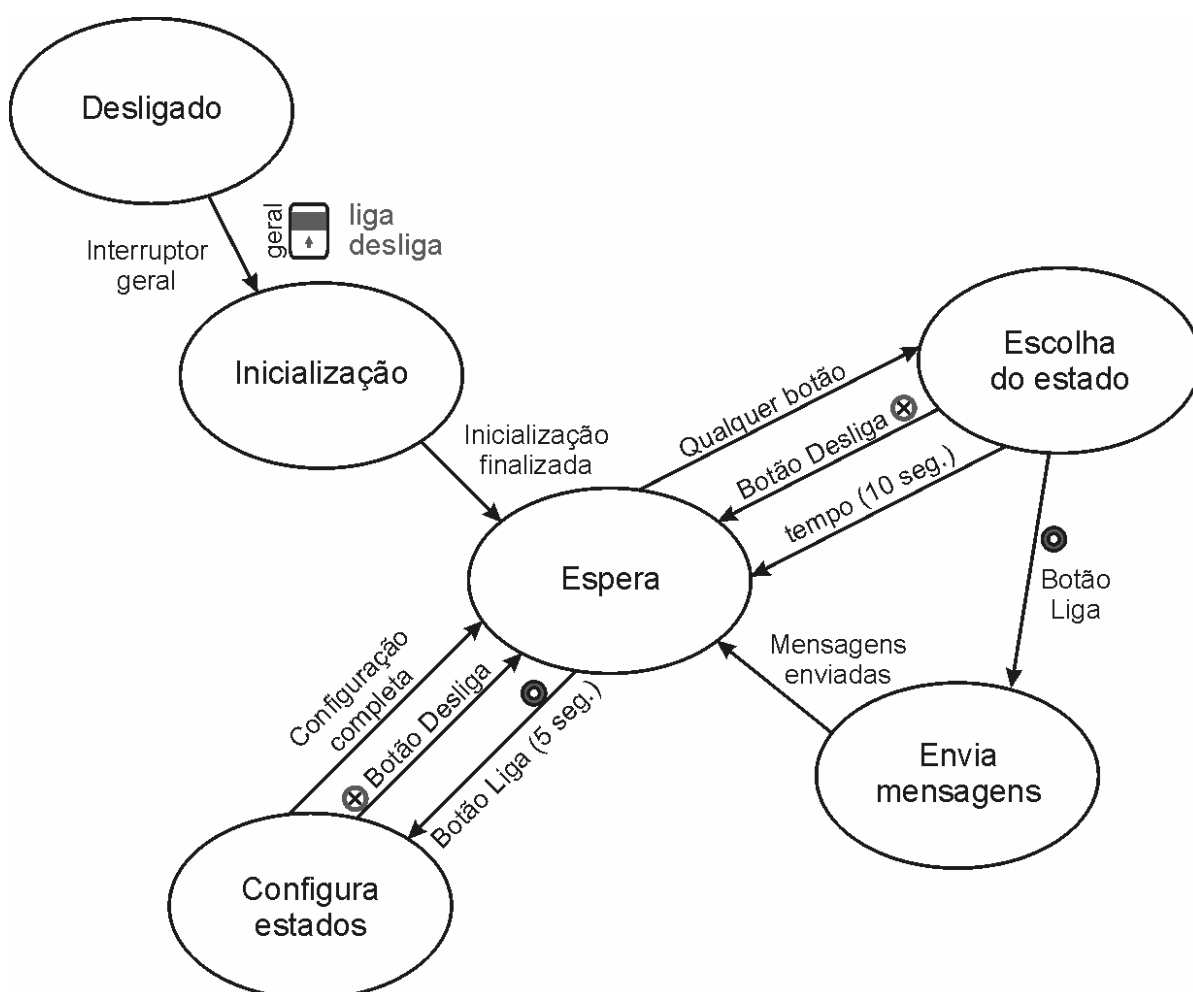


Figura 3.18 – Diagrama de estados de operação do sistema.

Cada um desses estados pode ser resumido da seguinte forma:

- ☞ *Desligado* ? Interruptor geral em posição *desliga*. Todos os itens do sistema se encontram desligados.

- ✍ *Inicialização ?* Inicialização da rede LIN. A iluminação do display (*backlight*) é acionada, e este indica o estado *Desativado*.
- ✍ *Espera ?* Display ligado, sem iluminação, indicando o estado atual do sistema de iluminação. A cada minuto, o nó mestre efetua uma verificação de cada nó escravo a procura de um terminal danificado.
- ✍ *Configura estados ?* Configuração dos sistemas de iluminação quanto à temporização, acionamento ou não e nível de intensidade luminosa para cada estado de iluminação, exceto o estado *Desativado*. Na configuração, há a possibilidade de configurar cada estado com valores pré-estabelecidos, chamados de *padrão*. O display se apresenta iluminado, auxiliando essa operação.
- ✍ *Escolha do estado ?* Escolha do estado de iluminação pré-configurado que será acionado. Display com iluminação ativa, para auxiliar a escolha.
- ✍ *Envia mensagens ?* Envio de mensagens aos nós escravos, correspondentes ao estado escolhido, de forma que cada terminal de iluminação possa agir de acordo com a configuração efetuada. Display indica o estado enviado, com a iluminação desativada.

No estado *Desligado*, o interruptor geral se apresenta na posição *desliga*, e o sistema não está ligado à energia elétrica.

Quando o interruptor geral é deslocado para a posição *liga*, o sistema parte para o estado de *Inicialização*, no qual o nó mestre é inicializado no estado de iluminação *Desativado* e passa ao estado de *Espera*, no qual permanece apresentando um consumo mínimo de energia até que ocorra alguma atividade no painel central.

Acionando-se o botão *liga* e mantendo-o pressionado durante 5 segundos, passa-se ao estado *Configura estados*, no qual cada estado de iluminação pode ser configurado, exceto o estado *Desativado*, que não é configurável.

A operação de configuração dos estados é descrita no fluxograma da figura 3.19, partindo-se inicialmente da escolha do estado a ser configurado e de qual, entre os três sistemas de iluminação, deve ser configurado.

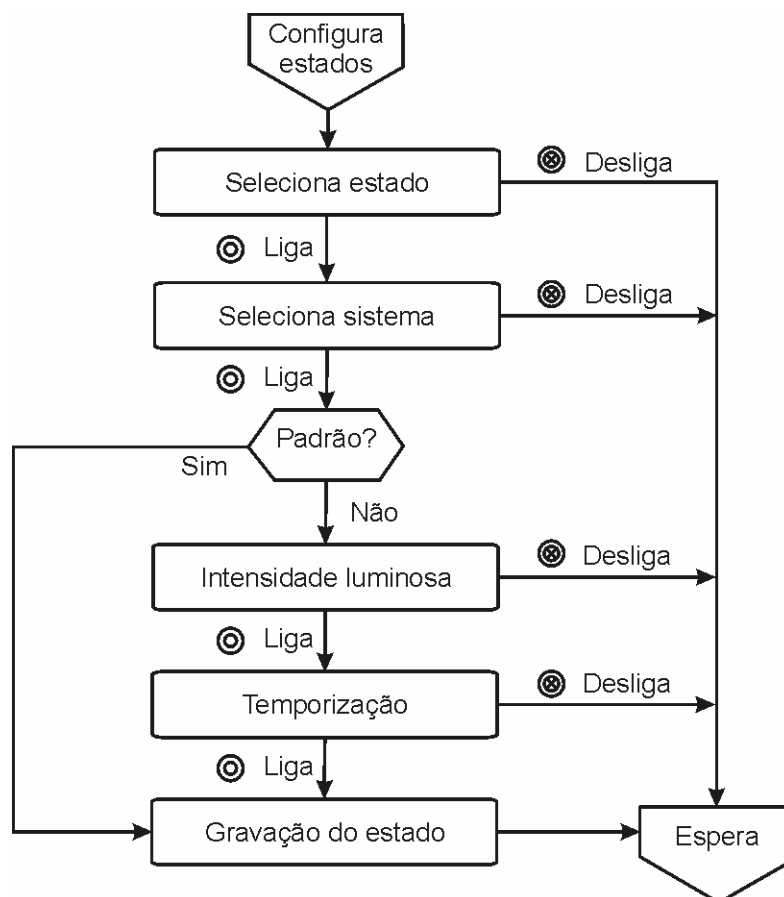


Figura 3.19 – Fluxograma de configuração dos estados.

Essa configuração possibilita a escolha do nível de intensidade luminosa que cada sistema deve proporcionar, em cada estado, bem como o tempo que tal sistema deve permanecer acionado, através dos botões *mais* e *menos*. Porém, para efetuar uma configuração com êxito, o usuário deve proceder até a gravação do estado. Se o botão *Desliga* for pressionado uma vez, antes da gravação, o estado de configuração será desativado, retornando-se ao estado de *Espera* sem efetuar nenhuma modificação em qualquer dos estados de iluminação.

Ainda, na escolha do sistema a ser configurado, o usuário tem a alternativa de selecionar o item *Padrão*, que representa as configurações pré-estabelecidas de cada estado.

No estado de *Espera*, pressionando-se qualquer botão, passa-se ao estado de *Escolha do estado*, no qual o estado de iluminação é selecionado, conforme fluxograma da figura 3.20.

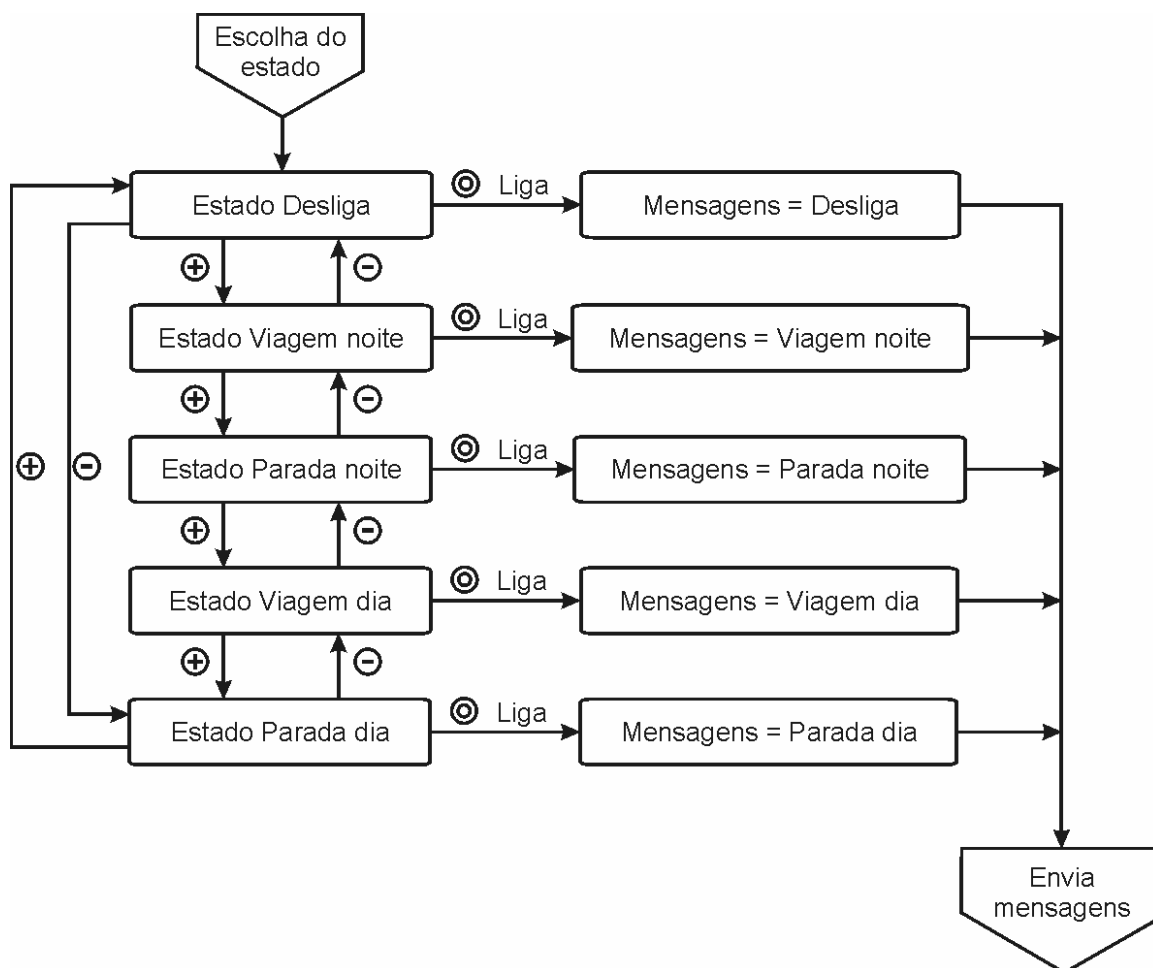


Figura 3.20 – Fluxograma de escolha do estado.

Se o botão *Desliga* é pressionado durante esse estado, ou se nenhum botão é pressionado durante 10 segundos, o sistema retorna ao estado de espera.

No estado *Envia mensagens*, o nó mestre envia as mensagens à rede LIN, de forma que os nós escravos operem de acordo com as configurações efetuadas pelo usuário.

A tabela 3.1 indica o estado de cada item do sistema de iluminação, para os diferentes estados de iluminação pré-estabelecidos. Os itens descritos na tabela 3.1 são um exemplo de configuração dos estados de iluminação, que pode ser modificada pelo usuário do sistema.



Tabela 3.1 – Configuração dos estados de iluminação

Itens do Sistema	Estados de iluminação pré-configurados				
	Desativado	Viagem dia	Parada dia	Viagem noite	Parada noite
Central	Desligado	Desligado	Ligado	Temporizado	Ligado
Sinalização	Desligado	Desligado	Ligado	Ligado	Ligado
Leitura	Desativado	Ativado	Ativado	Ativado	Ativado

No estado *Viagem noite*, o sistema de iluminação central é temporizado e, uma vez acionado esse estado, o sistema de iluminação central deve permanecer ligado por um determinado tempo, a partir do qual passa a reduzir sua intensidade luminosa gradativamente, até atingir zero. Ainda, nesse estado, o sistema de sinalização é configurado de tal forma que sua intensidade luminosa é reduzida, depois de um determinado tempo, porém sem atingir nível zero, mas permanecendo com um nível de luminosidade reduzido.

O display deve permanecer ligado em qualquer dos estados do diagrama da figura 3.18, embora sua iluminação (*backlight*) esteja ligada apenas nos estados de *inicialização*, de *configuração* e de *escolha do estado*.

### 3.10 Comunicação através da rede

A rede de comunicação LIN é composta por um nó mestre e 16 nós escravos, os quais podem ser divididos em 3 grupos, de acordo com sua finalidade.

Dois nós escravos são responsáveis pelo controle do sistema de iluminação de leitura, que deve ser habilitado para que cada terminal possa ser acionado individualmente.

Quatro nós escravos têm a finalidade de controlar o sistema de sinalização, efetuando temporização e controle sobre a intensidade luminosa dos LED's.

Os outros dez nós escravos ligados à rede LIN são responsáveis pelo acionamento e controle do sistema de sinalização central, sendo capazes de efetuar temporização e controle de intensidade luminosa do ambiente. Esses nós apresentam sensores de luminosidade, que lhes permite reduzir o nível de luminosidade em casos que há iluminação natural.

Os nós responsáveis pelo acionamento e controle dos sistemas de sinalização e de iluminação central efetuam a variação da intensidade luminosa dos LED's de forma gradativa.

Quanto às mensagens utilizadas na comunicação, é necessária a utilização de três identificadores distintos, que são reconhecidos por cada conjunto de nós escravos, além de um identificador para cada nó escravo, utilizado para verificação de erros, efetuada pelo nó mestre.

A tabela 3.2 identifica cada nó escravo ligado à rede LIN, com os respectivos identificadores reconhecidos por cada nó.

Tabela 3.2 – Nós e respectivos identificadores

Nó escravo	Função	Identificadores gerais	Identificadores específicos
		Ação	Diagnóstico
01	Iluminação de leitura	0x01	0x05
02	Iluminação de leitura	0x01	0x06
03	Sistema de sinalização	0x02	0x0A
04	Sistema de sinalização	0x02	0x0B
05	Sistema de sinalização	0x02	0x0C
06	Sistema de sinalização	0x02	0x0D
07	Iluminação Central	0x03	0x19
08	Iluminação Central	0x03	0x1A
09	Iluminação Central	0x03	0x1B
10	Iluminação Central	0x03	0x1C
11	Iluminação Central	0x03	0x1D
12	Iluminação Central	0x03	0x1E
13	Iluminação Central	0x03	0x1F
14	Iluminação Central	0x03	0x20
15	Iluminação Central	0x03	0x21
16	Iluminação Central	0x03	0x22

Os três identificadores gerais representam mensagens enviadas pelo nó mestre aos nós escravos, sendo que cada mensagem é composta, ainda, por 2 bytes. Esses bytes carregam informações de temporização e nível de luminosidade.

O primeiro byte transmitido é configurado de tal forma que o primeiro bit indica se o sistema é ligado ou desligado, o segundo bit indica se o sistema é temporizado ou não, e os outros 6 bits indicam o tempo que o sistema permanece ligado, ou com intensidade nominal, possibilitando até 64 possibilidades, com um incremento ou decremento de 1 em 1 minuto.

O segundo byte indica a intensidade luminosa, que é incrementada de 5% em 5%, até 100%, ou seja, apresenta apenas 20 valores, para facilitar a configuração.

Os identificadores específicos são transmitidos na rede, e o nó escravo correspondente ao identificador responde a sua situação, ou o estado em que se encontra. O nó mestre, por sua vez, verifica se cada terminal está operando de acordo com o especificado ou se está apresentando alguma falha.

### 3.11 Programação dos microcontroladores

A programação efetuada nos microcontroladores é baseada nos *drivers* para rede LIN, disponibilizados pela Freescale Semiconductor, Inc., e adaptados à aplicação proposta. A programação é efetuada em linguagem C++, utilizando o compilador “CodeWarrior Development Studio for HC08”, desenvolvido pela Metrowerks, para simplificar a funcionalidade e o entendimento do mesmo.

No desenvolvimento do sistema, são utilizados dois esquemas de programação diferentes, sendo um esquema aplicado ao microcontrolador encarregado de efetuar as tarefas de mestre na rede LIN, e outro aplicado aos nós do tipo escravos, conectados à rede.

A programação aplicada ao nó mestre é baseada nos diagramas de estados descritos anteriormente, que descrevem, por sua vez, toda a operação de configuração e acionamento do sistema de iluminação.

Ao final desta configuração, mostrada na figura 3.18, há um estado *Envia mensagens*, no qual o nó mestre envia os dados referentes ao acionamento e controle dos terminais de iluminação, controlados por nós escravos.

Os nós escravos, reconhecendo as mensagens recebidas, agem conforme informações contidas na mesma, acionando o conjunto de LED's, controlando a intensidade luminosa dos mesmos, temporizando, se necessário, ou simplesmente não agem, dependendo da mensagem recebida.

O fluxograma característico de um nó escravo identificado como um terminal do sistema de iluminação central é representado na figura 3.21.

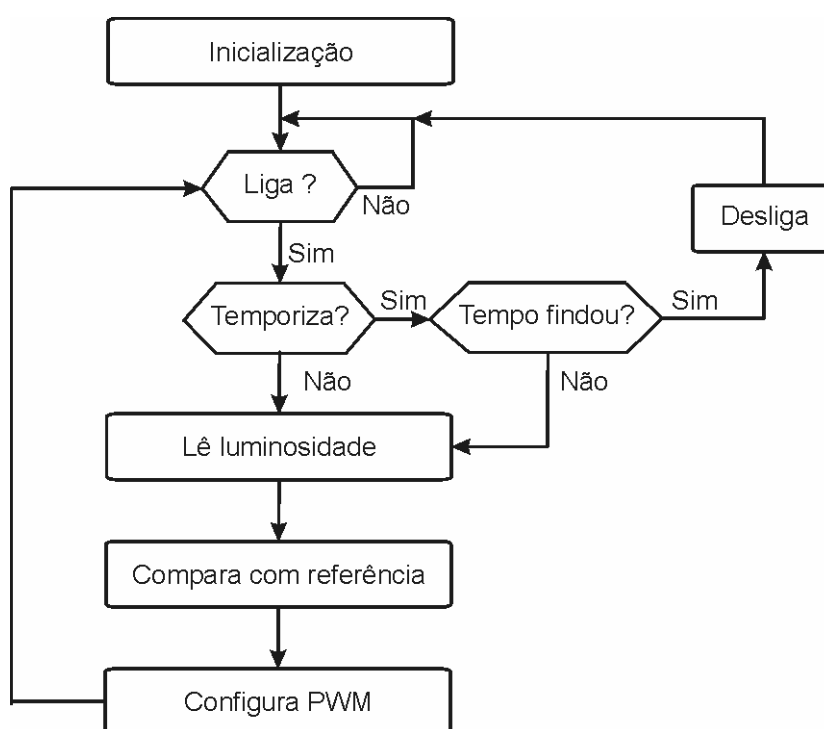


Figura 3.21 – Fluxograma de um nó escravo de Iluminação central.

O fluxograma de um nó escravo com tarefa de controle do sistema de sinalização difere deste pelo fato de não desligar o sistema, mas reduzir a intensidade luminosa do mesmo, quando findada a temporização. Os nós escravos dedicados à iluminação de leitura não apresentam sensores de luminosidade nem temporização.

Os fluxogramas a seguir descrevem a ação dos nós escravos com relação à recepção e transmissão de mensagens através da rede LIN.

A figura 3.22 descreve o fluxograma geral de um nó escravo, que deve esperar por uma nova estrutura de mensagem, receber os campos de pausa, de sincronismo e de identificação e receber ou transmitir dados através do campo de dados, de acordo com o identificador.

A figura 3.23 mostra um fluxograma característico da recepção de uma mensagem, que descreve os passos de recepção do campo identificador e recepção ou transmissão do campo de dados.

Na figura 3.24 é mostrado um fluxograma de transmissão de dados. O nó escravo deve transmitir todo o campo de resposta, desde o primeiro byte até o *checksum*.

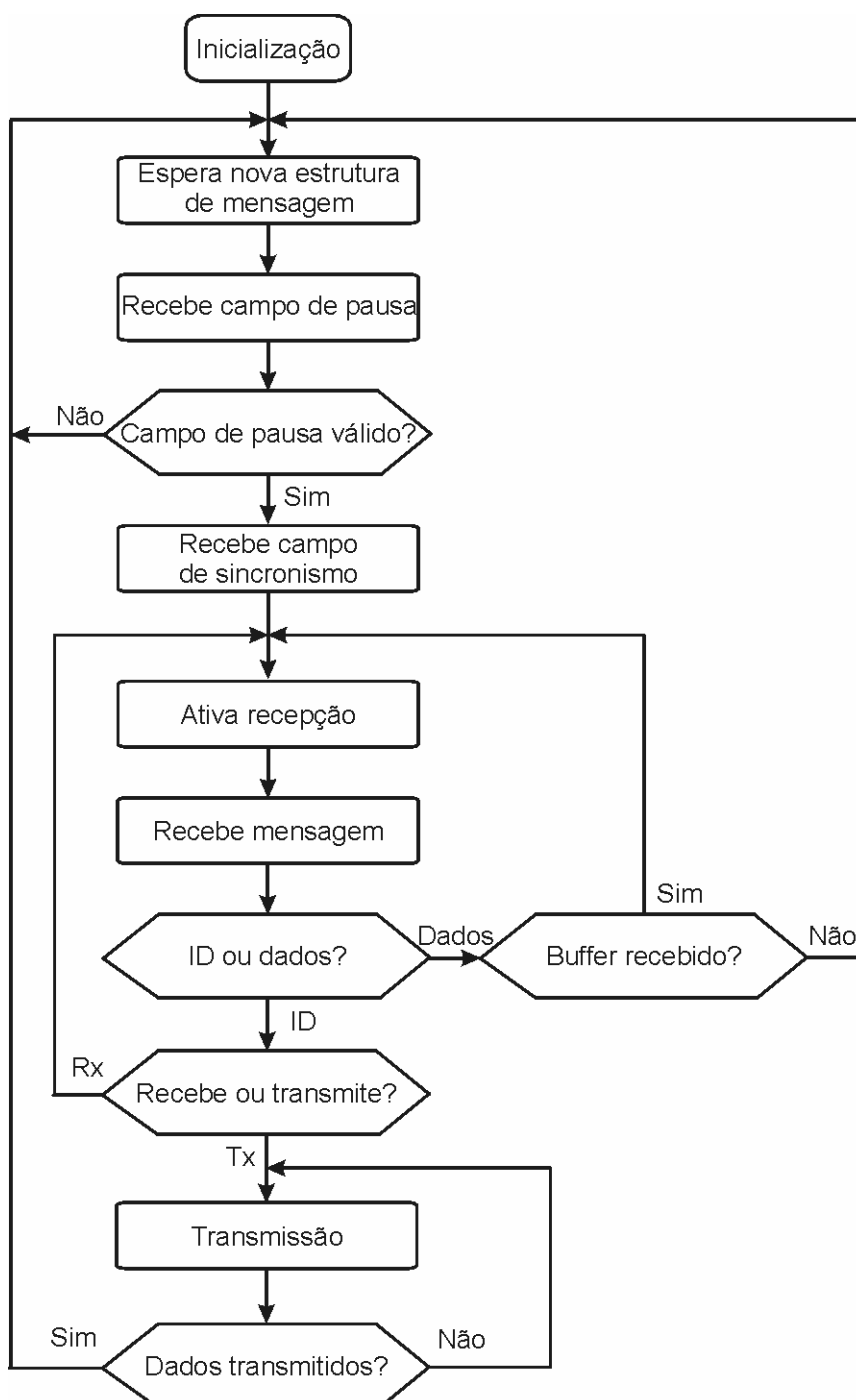


Figura 3.22 – Fluxograma de um nó escravo.

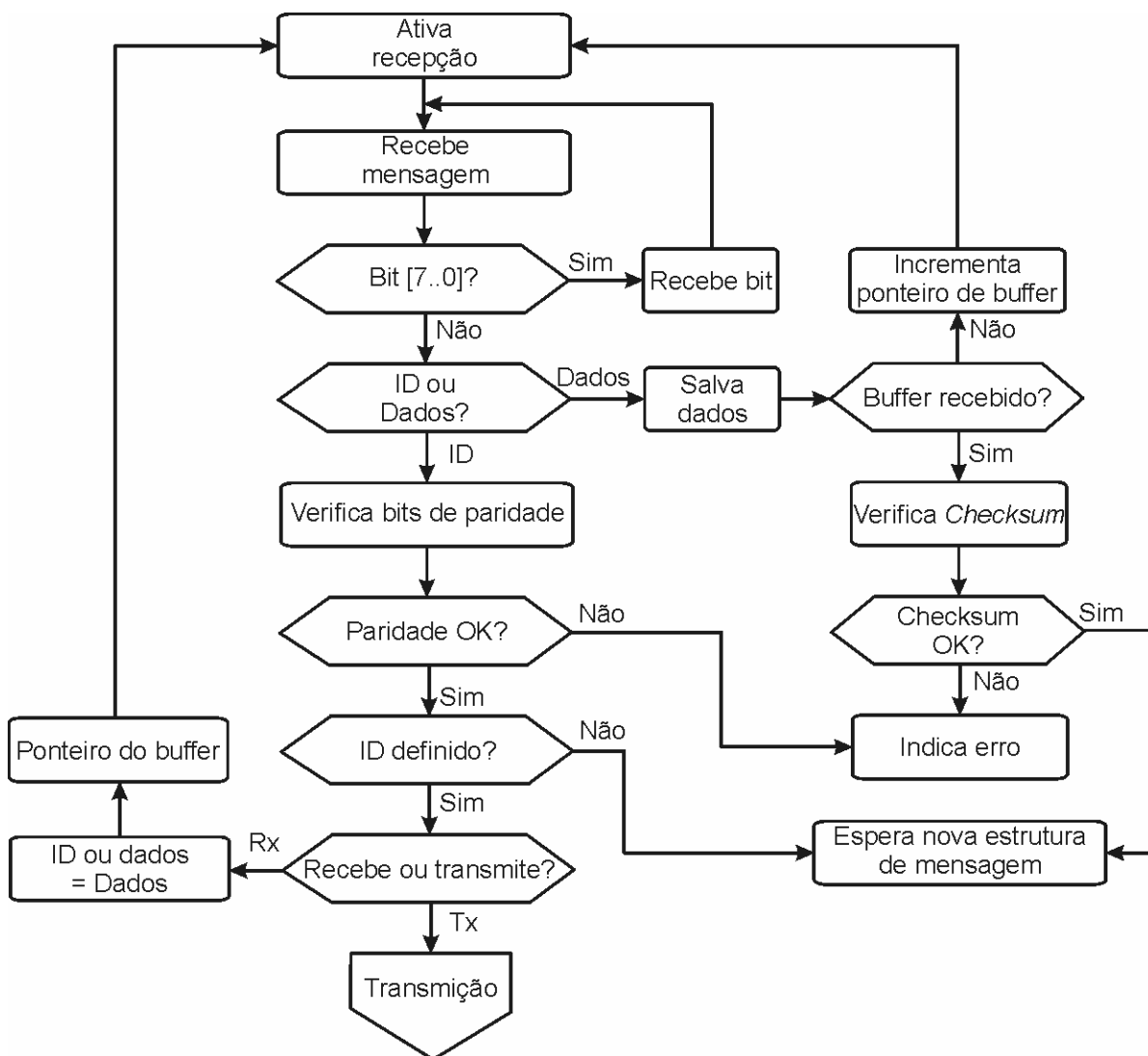


Figura 3.23 – Fluxograma de recepção de uma mensagem.

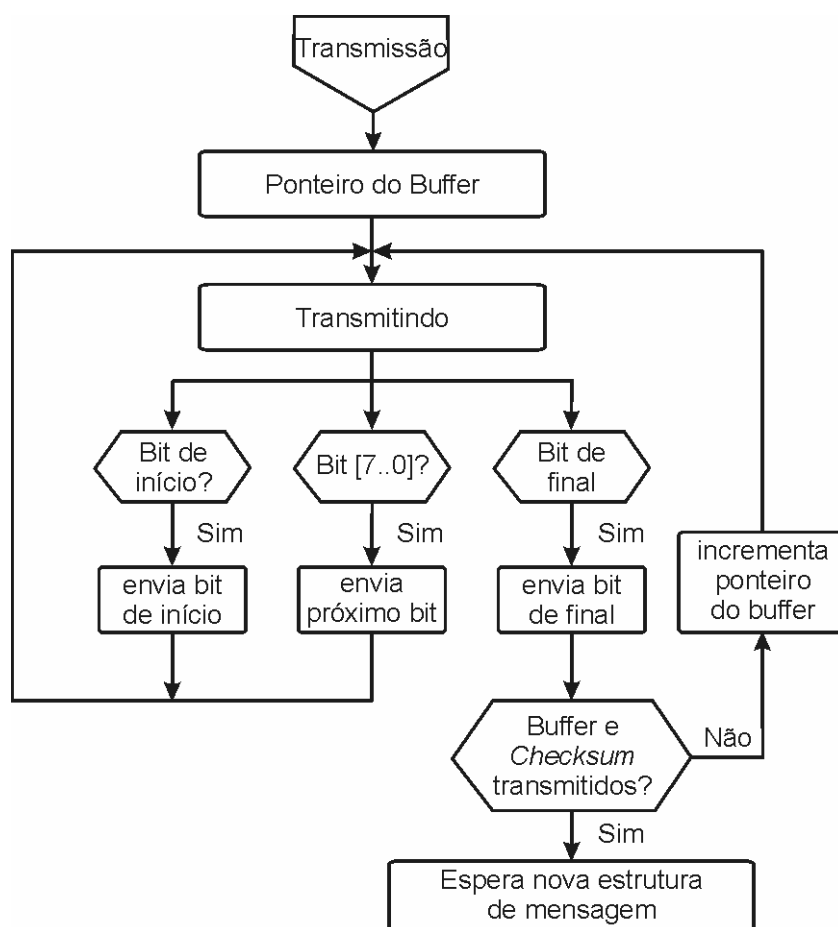


Figura 3.24 – Fluxograma de transmissão de dados.

### 3.12 Conclusão

Este capítulo apresentou uma descrição do sistema proposto, caracterizando a escolha dos componentes eletrônicos principais ao desenvolvimento do mesmo. A escolha dos microcontroladores necessários ao estabelecimento de comunicação através da rede foi tratada, bem como a descrição das principais características elétricas e de luminosidade dos diferentes LED's utilizados na confecção do sistema de iluminação.

A funcionalidade e a operacionalidade do sistema foram descritas, através do comportamento do mesmo em cada situação selecionada pelo usuário, desde as etapas de configuração do sistema até a ação deste, de acordo com as diferentes configurações.

A programação utilizada em cada um dos microcontroladores também foi descrita, através de diagramas esquemáticos que indicam as decisões tomadas pelo microcontrolador, em cada situação a que o mesmo é submetido. Essa descrição

auxilia sua modificação, para possível adaptação do sistema a uma outra aplicação, por caracterizar a operacionalidade dos microcontroladores através da utilização de diagramas simplificados de fluxo de informações.

A aplicação do sistema proposto no mercado é viável, uma vez que foram levados em consideração os sistemas presentes em um ônibus, como por exemplo, a rede de comunicação CAN, que é uma realidade nos ônibus rodoviários montados no Brasil, sendo que os microcontroladores utilizados possibilitam a inserção do sistema em uma rede de comunicação de protocolo CAN.



## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

---

### 4.1 Introdução

Este capítulo apresenta os resultados experimentais obtidos através da utilização do sistema implementado.

Inicialmente, são tratados os valores de iluminância obtidos através da utilização dos arranjos de LED's selecionados para o projeto e uma comparação desses valores com os obtidos através da utilização de uma lâmpada de filamento incandescente.

Algumas mensagens enviadas através do barramento da rede LIN são analisadas, de forma a comprovar o estabelecimento de uma comunicação entre o nó mestre e os nós escravos ligados a essa rede.

O sistema implementado não corresponde ao sistema proposto em sua totalidade, pois a aplicação destinada compreende a utilização de muitos terminais de iluminação, que alimentam um número considerável de LED's. O sistema desenvolvido, por sua vez, apresenta um número reduzido de terminais escravos ligados ao nó mestre, de forma a comprovar a operacionalidade funcionalidade do sistema proposto.

### 4.2 Arranjos de LED's

Escolhidos os componentes adequados a cada aplicação, foram desenvolvidos dois arranjos de LED's, sendo que um deles é composto por 9 LED's brancos de 5mm (L-5T3UW5C-01), conforme mostrado na figura 4.1, e outro arranjo é composto por 5 LED's Luxeon Emitter (LHXL-PW01), conforme mostra a figura 4.2.

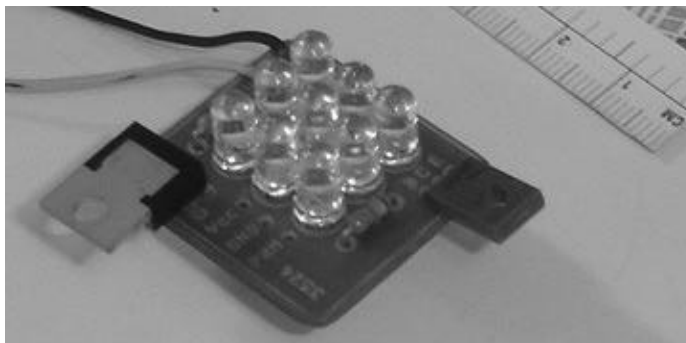


Figura 4.1 – Arranjo de 9 LED's de 5mm.

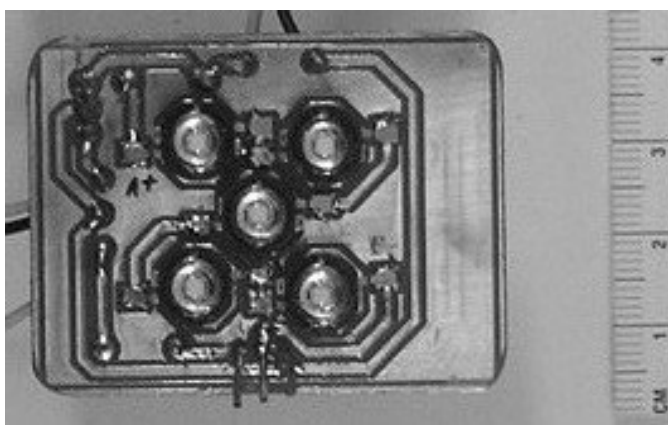


Figura 4.2 – Arranjo de 5 LED's Luxeon Emitter.

As figuras 4.3 e 4.4 mostram os arranjos de LED's submetidos à máxima corrente de polarização direta. Através da análise dessas fotos, fica clara a diferença entre os feixes luminosos emitidos por cada tipo de LED.

O feixe luminoso resultante do arranjo de LED's de 5 mm não ofusca a visão, quando se está a uma determinada distância de eixo de luminosidade máxima. Porém, o arranjo de LED's Luxeon Emitter ofusca a visão mesmo quando se mantém uma distância ainda maior do eixo do seu feixe luminoso máximo, pois seu ângulo de abertura de feixe luminoso chega a 140°.



Figura 4.3 – Arranjo de 9 LED's de 5mm.



Figura 4.4 – Arranjo de 5 LED's Luxeon Emitter.

Montados os arranjos de LED's, com os respectivos circuitos de alimentação e controle, foram efetuadas medidas de iluminância de cada arranjo.

Essas medidas foram realizadas utilizando-se uma caixa de madeira pintada na cor preto fosco, de forma a reduzir ao máximo as interferências luminosas relativas à incidência de luminosidade externa e ao índice de reflexão das paredes internas da caixa.

O medidor utilizado foi um luxímetro Icel, modelo LD-500, que apresenta uma exatidão de  $\pm(2\% + 2\text{dígitos})$ , nas escalas utilizadas.

A tabela 4.1 mostra os níveis de iluminância obtidos através de cada um dos arranjos, para as distâncias de 1 metro e de 50 cm entre o luxímetro e o arranjo. A tabela 4.1 mostra, ainda, a iluminância proveniente de uma lâmpada de filamento incandescente nas mesmas condições. A lâmpada utilizada é do tipo Halógena Dicroica, de 12 volts e 20 watts, da Empalux, que apresenta um refletor multi-espelho e vidro de proteção, com um ângulo de abertura do feixe luminoso de  $38^\circ$ .

Tabela 4.1 – Iluminância dos arranjos de LED's e de uma lâmpada de filamento incandescente

Fonte Luminosa	Consumo do Sistema	Iluminância	
		a 1 m	a 50 cm
9 LED's de 5mm	596 miliwatt	65 lux	242 lux
5 LED's Luxeon Emitter	5,86 watts	39 lux	141 lux
Lâmpada Halógena Dicroica	20 watts	600 lux	2580 lux

A partir da análise dos valores apresentados na tabela 4.1, verifica-se que a iluminância obtida a partir de um LED Luxeon Emitter é semelhante à iluminância obtida a partir de um LED de 5mm. Isso se explica pelo fato de o LED Luxeon apresentar um ângulo de abertura maior, sendo que a área circular iluminada por esse LED, a um metro de distância, é de aproximadamente 23,71 m<sup>2</sup>, enquanto que o LED de 5mm ilumina uma área circular de aproximadamente 0,226 m<sup>2</sup>.

É mais correto, portanto, comparar a lâmpada halógena com o conjunto de LED's de 5mm, pois ambas as fontes luminosas apresentam feixe luminoso dirigido, com ângulos de abertura semelhantes.

### 4.3 Microcontroladores

Os microcontroladores utilizados são mostrados nas figuras seguintes. A figura 4.5 apresenta um nó escravo, composto por um microcontrolador MC68HC908QY4 ligado à interface física para a rede LIN e LED's indicadores do estado do nó.

Na figura 4.6, é mostrado o MC33399, que é o circuito integrado utilizado para interface do microcontrolador com o barramento LIN.

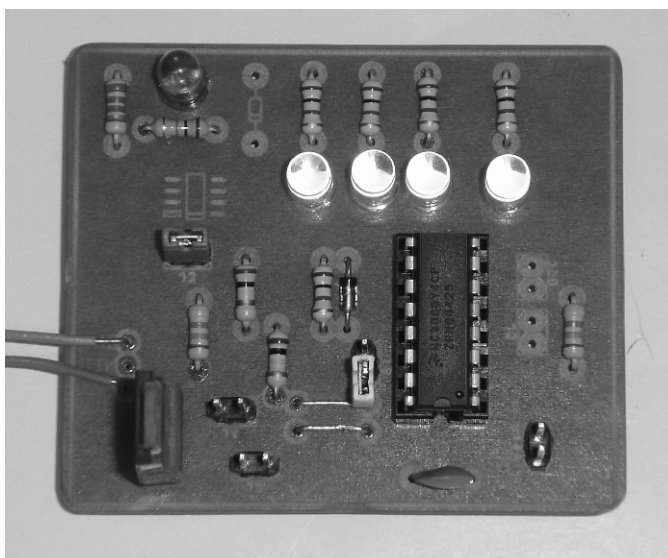


Figura 4.5 – Nó escravo da rede LIN.

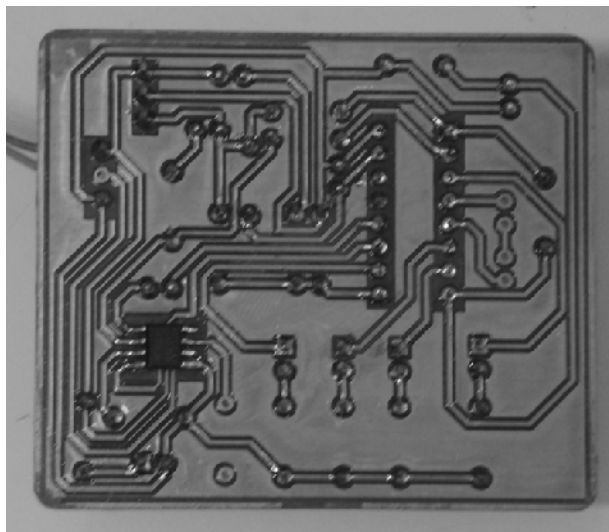


Figura 4.6 – Interface física da rede LIN.

O microcontrolador utilizado como mestre da rede LIN (MC68HC908GZ60) é mostrado na figura 4.7, que representa a placa utilizada para efetuar as conexões desse microcontrolador com os circuitos de gravação e da rede LIN. Essa placa possibilita a utilização de cada uma das portas do microcontrolador, além de apresentar um capacitor de desacoplamento na alimentação do mesmo e o circuito oscilador a cristal utilizado, otimizando a confiabilidade deste através da redução de ruídos.

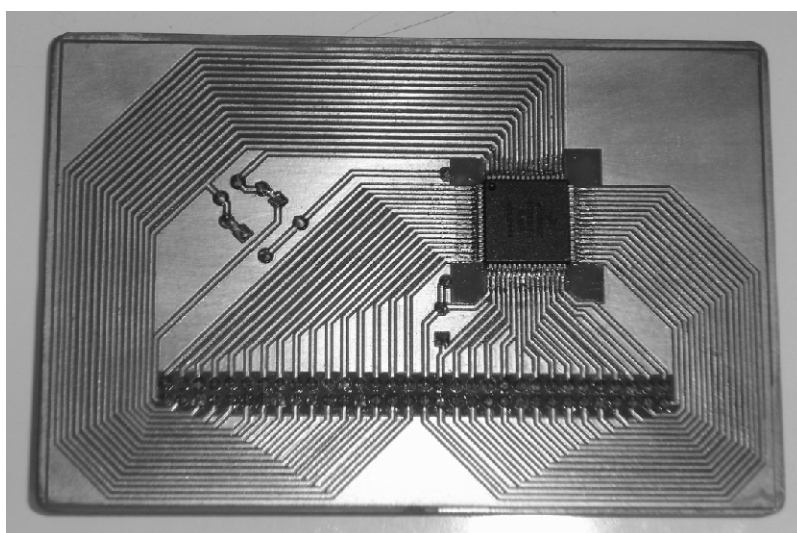


Figura 4.7 – Microcontrolador com tarefa de mestre.

#### 4.4 Mensagens no barramento LIN

As mensagens enviadas pelo nó mestre aos nós escravos através da rede LIN podem receber um campo de resposta ou não, dependendo da solicitação do nó mestre, ou seja, do campo de identificação específico enviado à rede.

A seguir, são analisadas duas mensagens enviadas através da rede LIN, a partir das quais pode-se verificar a comunicação ocorrida entre o nó mestre e os nós escravos ligados à rede.

A figura 4.8 apresenta uma mensagem correspondente a um identificador que não recebe resposta de nenhum nó escravo, seja por não requerer essa resposta, ou por nenhum nó escravo reconhecer o identificador enviado.

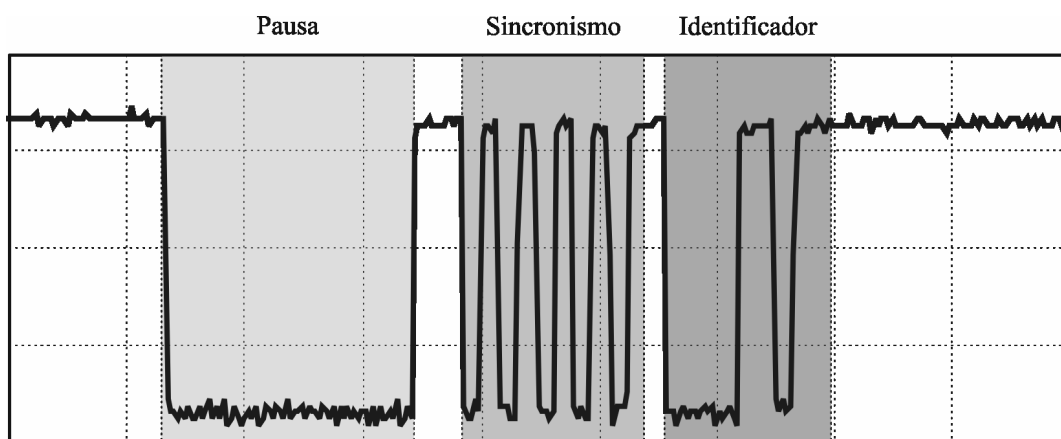


figura 4.8 – Mensagem transmitida no barramento LIN pelo nó mestre.

Verifica-se que esta mensagem é composta apenas pelo campo de cabeçalho de um protocolo de comunicação do tipo LIN, no qual são identificados os campos de pausa, o campo de sincronismo e o campo de identificação.

Os bits de identificação enviados ao barramento da rede, conforme se observa na figura 4.8, são 0000110111.

Interpreta-se esses bits da seguinte forma:

- Escrevendo-se do mais significativo ao menos significativo, se obtém 1110110000.

- Retirando-se o bit de início e o bit de final, presentes em qualquer byte enviado através da rede, obtém-se 1101 1000, o que significa dizer que o identificador transmitido é 0xD8, ou D8 na base hexadecimal.

- Considerando-se, por fim, que os dois bits mais significativos são os bits de paridade, e são utilizados apenas para controlar a ocorrência de erros de transferência de dados em uma mensagem, o identificador correspondente a esta mensagem é 011000, ou seja, 0x18, na base hexadecimal.

Esse identificador não está registrado na tabela 3.2 e, portanto, não é reconhecido por nenhum dos nós escravos, que permanecem em seus estados anteriores e não alteram suas características.

A mensagem apresentada na figura 4.9 corresponde a um identificador que recebe resposta de um nó ligado ao barramento da rede LIN.

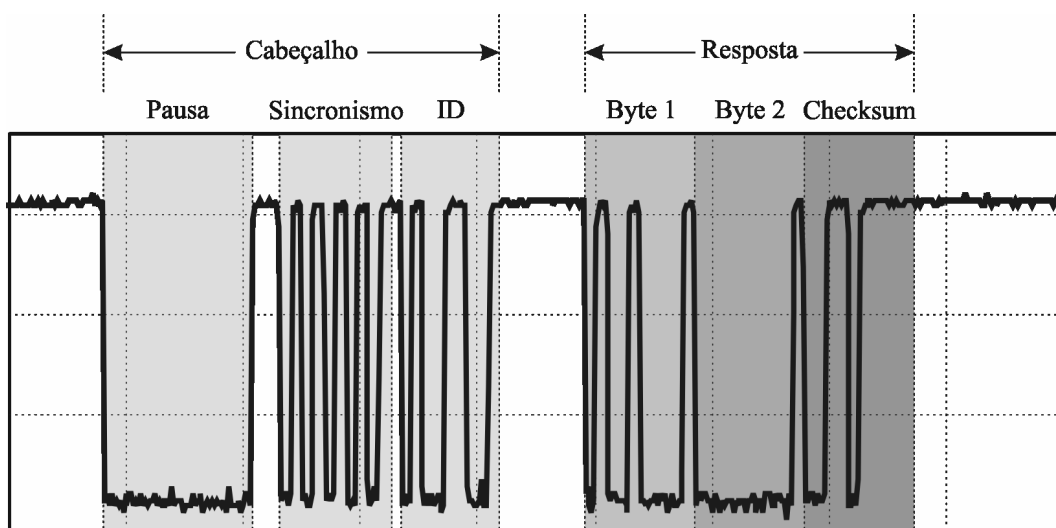


figura 4.9 – Mensagem transmitida pelo nó mestre e campo de resposta respectivo.

Verifica-se que o campo de cabeçalho identificado nessa mensagem é seguido de um campo de resposta.

No campo de cabeçalho, identifica-se o campo de pausa, o campo de sincronismo e o campo de identificação.

Neste caso, os bits do campo de identificação enviados ao barramento da rede são 0-1001 1001-1.

Interpreta-se esses bits da seguinte forma:

- Retirando-se o bit de início e o bit de final, obtém-se 1001 1001.
- Escrevendo-se do mais significativo ao menos significativo, se obtém 10011001, ou seja, o identificador transmitido é 0x99, na base hexadecimal.

- Desconsiderando-se, então, os dois bits mais significativos, que são os bits de paridade, obtém-se o identificador correspondente a esta mensagem, que é 011001, ou seja, 0x19, na base hexadecimal.

O campo de resposta consta de 3 bytes.

Os 2 primeiros bytes correspondem ao campo de resposta, e o terceiro byte representa o *checksum*.

Os bytes de resposta são, respectivamente, 0-1001 0000-1, 0-0000 0000-1 e 0-0110 1111-1.

O Byte 1 é interpretado como sendo 0000 1001.

O Byte 2 é interpretado como sendo 0000 0000.

O *checksum* é interpretado como sendo 1111 0110, e é o resultado de uma equação envolvendo os 2 bytes de dados presentes na resposta.

#### **4.5 Controle da corrente de polarização dos LED's**

O controle de intensidade luminosa proveniente de um LED deve ser efetuado através do controle de sua corrente de polarização direta. No sistema desenvolvido, esse controle foi obtido através da variação da razão cíclica de uma tensão retangular, aplicada à base do transistor bipolar, cuja corrente de coletor representa a corrente de polarização de um conjunto de LED's ligados em configuração série.

Essa tensão, modulada por largura de pulsos, é proveniente do microcontrolador com tarefa de escravo, que efetua a modulação de acordo com o nível de luminosidade requerida pelo usuário do sistema, comparado ao valor indicado pelo sensor de luminosidade, no conversor A/D do microcontrolador.

Alguns sinais provenientes desses microcontroladores são descritos nas figuras 4.10 a 4.14, sendo descritos os sinais de comando de base do transistor, a corrente de polarização direta dos LED's e a queda de tensão  $V_{CE}$  no transistor, respectivamente canais 1, 2 e 3. A frequência de operação, a razão cíclica e a corrente média de polarização dos LED's são identificadas nas respectivas aquisições, obtidas através da utilização do arranjo de 9 LED's de 5mm.



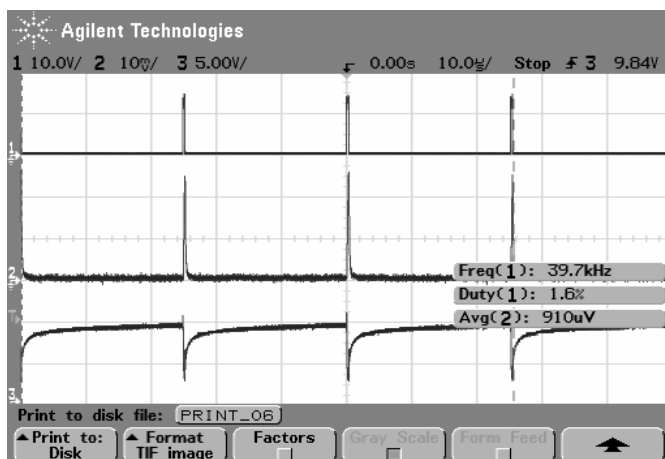


Figura 4.10 – Controle da luminosidade do arranjo de LED's razão cíclica aproximadamente zero.

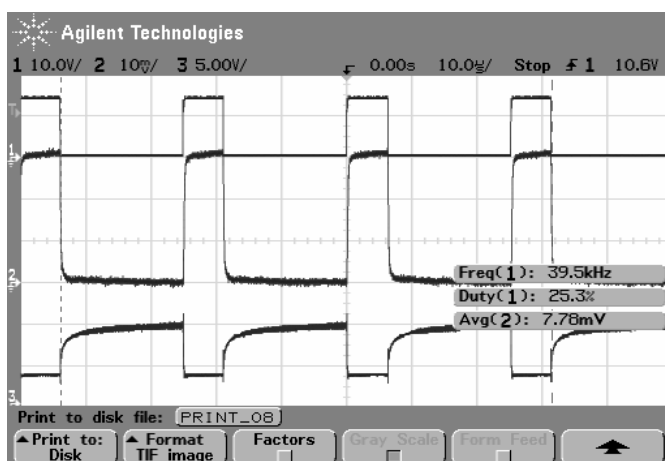


Figura 4.11 – Controle da luminosidade – 25%.

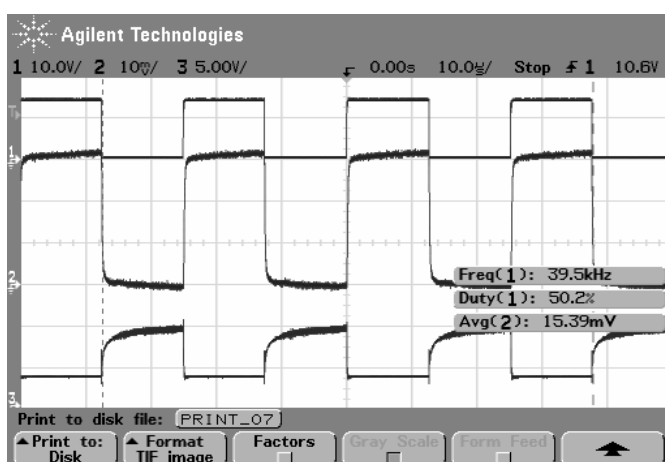


Figura 4.12 – Controle da luminosidade – 50%.

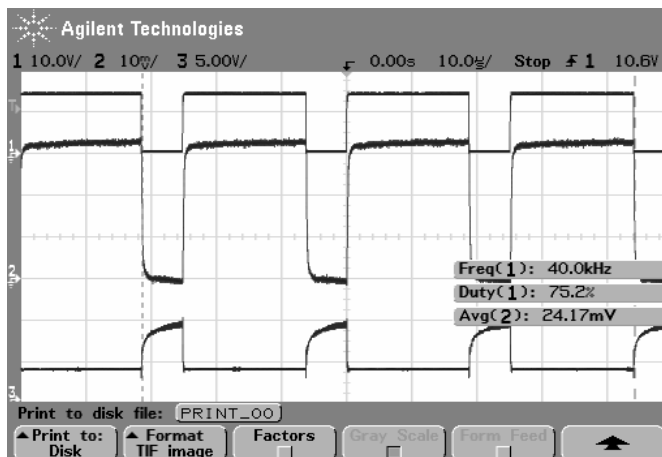


Figura 4.13 – Controle da luminosidade – 75%.

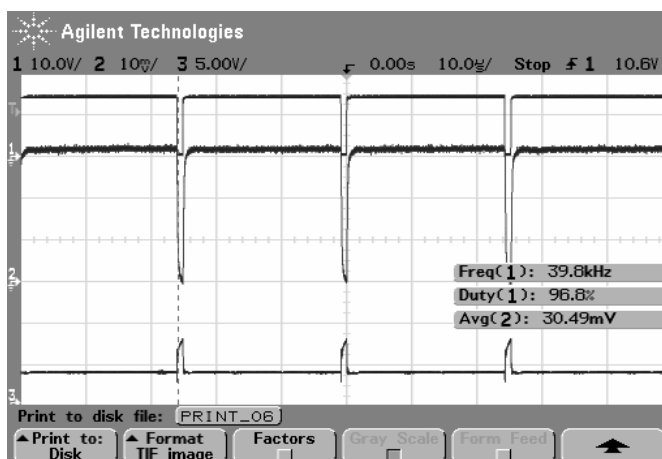


Figura 4.14 – Controle da luminosidade – aproximadamente 100%.

Com o controle da corrente de polarização direta, foram efetuadas medidas de iluminância a 1 metro de distância da fonte luminosa, para cada nível de luminosidade indicado.

Os valores de iluminância obtidos são mostrados na tabela 4.2, que indica a variação da intensidade luminosa através do controle da corrente de polarização dos LED's. Os valores foram obtidos utilizando-se os 2 arranjos desenvolvidos, com razão cíclica de 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00.

Os valores obtidos comprovam o controle efetuado pelo sistema desenvolvido sobre a intensidade luminosa emitida pelos conjuntos de LED's, além da relação linear dessa luminosidade em relação à variação da corrente de polarização dos LED's.

Tabela 4.2 – Controle da iluminância dos arranjos de LED's

Razão cíclica	Iluminância	
	9 LED's de 5mm	5 LED's Luxeon Emitter
0	-	-
0,25	20 lux	10 lux
0,50	36 lux	19 lux
0,75	53 lux	28 lux
1,00	65 lux	39 lux

#### 4.6 Conclusão

Este capítulo abordou as medidas de iluminância dos arranjos de LED's utilizados na confecção do sistema, além de uma comparação da luminosidade proveniente desses arranjos com a luminosidade obtida através de uma lâmpada de filamento incandescente, considerando-se ângulo de abertura do feixe luminoso de cada uma das fontes luminosas e consumo apresentado, em watts, que ocasionou tal medida de iluminância.

A comparação entre o feixe luminoso emitido pelos dois arranjos de LED's implementados evidencia a diferença entre os ângulos de abertura do feixe luminoso dos mesmos. A iluminância apresentada por um LED Luxeon Emitter é semelhante à iluminância resultante de um LED de 5 mm, se considerado o eixo de intensidade luminosa máxima para ambos os casos, embora cada um destes tipos de LED's apresentem níveis de potências distintos.

Porém, a diferença entre os ângulos de abertura dos feixes luminosos desses LED's indica que o fluxo luminoso (lumens) emitido por cada um deles é diferente, mesmo que a iluminância (lux) seja semelhante, considerando-se o eixo de intensidade luminosa máxima.

Algumas formas de onda obtidas experimentalmente a partir do barramento da rede LIN implementada confirmam a comunicação efetuada entre o nó mestre e os nós escravos ligados à rede.

A análise dessas mensagens comprova a operacionalidade do protocolo de comunicação LIN descrito no capítulo anterior, que trata de protocolos de comunicação. As mensagens apresentadas descrevem a transmissão de um campo de cabeçalho pelo nó mestre e a transmissão de um campo de resposta por um dos nós escravos ligados à rede.

O controle de intensidade luminosa emitida pelos LED's foi verificado através de ensaios, realizados com diferentes níveis de corrente de polarização direta dos mesmos, comprovando a possibilidade de variação da intensidade luminosa emitida pelos arranjos de LED's.

## CONCLUSÃO GERAL

---

O trabalho desenvolvido nesta dissertação aborda aspectos importantes na área de iluminação, através de um estudo dos dispositivos de iluminação semicondutora com maior tecnologia na atualidade. Foram abordadas técnicas de obtenção de luz branca a partir de LED's de alta intensidade, levando-se em consideração a qualidade do fluxo luminoso emitido, como a temperatura de cor e índice de reprodução de cor, além de características como ângulo de abertura do feixe luminoso, robustez e vida útil.

Um sistema de alimentação e controle de conjuntos distribuídos de LED's é proposto, e a operacionalidade do sistema é descrita detalhadamente, através de fluxogramas e diagramas de estados. O sistema proposto é responsável pela iluminação no interior de um ônibus, através do controle de um número elevado de terminais de LED's com funções distintas.

Para tornar possível o controle de um número elevado de LED's, foram abordados os protocolos de comunicação mais utilizados em aplicações automotivas na atualidade, sendo implementada uma rede LIN, de baixo custo, utilizada no controle de cada terminal de iluminação presente no interior de um ônibus.

Essa rede implementada é composta de um número reduzido de nós escravos, de forma a proporcionar uma confirmação da funcionalidade e operacionalidade do sistema proposto, que apresenta um número elevado de nós do tipo escravo, além de ser submetido a uma rede CAN, que não foi implementada na prática por já estar presente em muitos ônibus rodoviários montados no Brasil e no mundo.

Ainda, essa rede desenvolvida pode operar como uma sub-rede de uma rede do tipo CAN, através de uma interface entre os dois protocolos. Essa interface foi prevista na escolha dos componentes utilizados, e o microcontrolador com tarefa

de mestre da rede LIN apresenta características específicas para conexão a uma rede do tipo CAN.

O protocolo CAN é mais complexo que o protocolo LIN e apresenta maior taxa de transmissão de dados. Trata-se do protocolo mais utilizado na atualidade, entre os protocolos de comunicação para aplicações automotivas, e a utilização de protocolos diferentes, subordinados a este, é uma alternativa de baixo custo que viabiliza o controle de sistemas que não necessitam uma resposta em tempo real.

Um sistema de iluminação, por exemplo, não requer altas taxas de transmissão de dados, e a utilização de uma rede do tipo LIN no controle da iluminação apresenta-se como uma alternativa viável e de fácil adaptação aos sistemas presentes nos ônibus rodoviários montados na atualidade.

A utilização de LED's em sistemas de iluminação ainda não é uma realidade devido principalmente ao custo elevado apresentado por esses dispositivos. Porém, essas fontes luminosas são recentes, e o custo apresentado tem sido reduzido consideravelmente nos últimos anos, além da obtenção de valores cada vez maiores de eficácia luminosa e intensidade luminosa emitida por um único LED.

Assim, as previsões são otimistas com relação à utilização de LED's em sistemas de iluminação. Em poucos anos, a utilização desses dispositivos deve se tornar uma realidade em vários setores da iluminação, e essa gama de aplicações deve ser estendida, a medida que a relação *custo por intensidade luminosa* for reduzida, o que certamente deverá ocorrer com o aumento da produção desses dispositivos.

Dessa forma, este trabalho procurou contribuir para o desenvolvimento de sistemas de alimentação e controle de fontes de iluminação semicondutora, através da proposta de um sistema de iluminação inteligente, cuja aplicação automotiva maximiza as vantagens desses dispositivos em relação às lâmpadas de filamentos até então utilizadas.

## REFERÊNCIAS

---

- [1] ARIK, M.; PETROSKI, J.; WEAVER, S. **Thermal Challenges in the Future Generation Solid State Lighting Applications: Light Emitting Diodes.** The 8<sup>th</sup> Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, p. 113 – 120, May/June 2002.
- [2] BADDELA, S. M.; ZINGER, D. S. **Parallel Connected LEDs Operated at High Frequency to Improve Current Sharing.** Conference Record of the 39<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, v. 3, p.1677 – 1681, Oct. 2004.
- [3] BISOGNO, F. E. **Topologia Para Iluminação Fluorescente Utilizando Conversor Boost-Push-Pull Integrado Com Um Único Interruptor.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.
- [4] BOWERS, B. **Historical Review of Artificial Light Sources.** IEE Proceedings, v. 127, n. 2, p. 127-122, April 1980.
- [5] BOYCE, C.R. **Automotive Local Area Networks.** Computing & Control Engineering Journal, v. 1, 3<sup>rd</sup> ed., p. 128 – 130, May 1990.
- [6] BRAHIM, D.; BEASLEY, M. **The Benefits of LED Traffic Lights in London and the Pilot Test Sites.** International Conference on Road Transport Information and Control. 9<sup>th</sup>, p. 172 – 176, April 1998.
- [7] CHEN, C. H.; CHANG, S. J.; SU, Y. K.; SHEU, J. K.; CHEU, J. F.; KUO, C. H.; LIN, Y. C. **Nitride-Based Cascade Near White Light-Emitting Diodes.** IEEE Photonics Technology Letters, v. 14, 7<sup>th</sup> ed., p. 908 – 910, July 2002.
- [8] COOK, B. **New Developments and Future Trends in High-Efficiency Lighting.** Engineering Science and Education Journal, v. 9, 5<sup>th</sup> ed., p. 207-217, Oct. 2000.
- [9] DENARDIN, G. W. **Desenvolvimento de uma Rede Fieldbus para Gerenciamento do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica.** Dissertação

(Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

- [10] DENBAARS, S. P. **Gallium-Nitride-Based Materials for Blue to Ultraviolet Optoelectronics Devices**. Proceedings of the IEEE, v. 85, 11<sup>th</sup> ed., p. 1740 – 1749, Nov. 1997.
- [11] DENUTO, J. V.; EWBANK, S.; KLEJA, F.; LUPINI C. A.; PERISHO, R. A. Jr. **LIN Bus and its Potential for Use in Distributed Multiplex Applications**. SAE World Congress, Detroit, March 2001.
- [12] FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. WEBSITE. Disponível em <<http://www.freescale.com>>. Acesso em: fev. 2004.
- [13] GUO, X.; GRAFF, J.; SCHUBERT, E. F. **Photon Recycling Semiconductor Light Emitting Diode**. Electron Devices Meeting, p. 600 – 603, Dec. 1999.
- [14] HAMMER, E. E. **High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamp up to 500 kHz**. Journal of Illuminating Engineering Society, p. 52-61, winter 1987.
- [15] HARRIS, J. B. **Electric Lamps, Past and Present**. IEE Engineering Science and Education Journal, p. 161-170, Aug. 1993.
- [16] HOLLAND, R. **The Introduction of Networking Into the Automotive Industry**. New Product Introduction in Electronics, IEE Seminar, p. 311 – 316, April 2000.
- [17] KALINOWSKY, S. A.; MARTELLO, J. J. **Electrical and Illumination Characteristics of Energy-Saving Fluorescent Lighting as a Function of Potential**. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 25, n. 2, p. 208-215, March/April 1989.
- [18] KINGBRIGHT CORPORATION WEBSITE. Disponível em: <<http://www.us.kingbright.com>>. Acesso em: jan. 2004.
- [19] LEEN, G.; HEFFERNAN, D.; DUNNE, A. **Digital Networks in the Automotive Vehicle**. Computing & Control Engineering Journal, v. 10, 6<sup>th</sup> ed., p. 257 – 266, Dec. 1999.
- [20] LIN CONSORTIUM. **LIN Specification, Revision 2.0**. Disponível em <[www.lin-subbus.org](http://www.lin-subbus.org)>. Acesso em: Sep. 2003.
- [21] LUMILEDS LIGHTING, LLC. WEBSITE. Disponível em: <<http://www.lumileds.com>>. Acesso em: jan. 2004.
- [22] LUPINI, C. A. **Multiplex Bus Progression 2003**. SAE World Congress, Detroit, Michigan, March 2003.



- [23] MCD ELECTRONICS, INC. WEBSITE. Disponível em: <<http://www.mcdelectronics.com>>. Acesso em: jan. 2004.
- [24] MICHEL, A. L.; PAPPIS, D.; CAMPOS, A.; PRADO, R. N. do. **Electronic Ballast with Automatic Luminous Variation and Presence Detection Using Microcontroller and Self-Oscillating Command**. Industry Applications Conference, v. 2, p. 1071-1077, Oct. 2002.
- [25] MICHEL, A. L. **Sistema Eletrônico Auto-Oscilante com Controle de Intensidade Luminosa por Microcontrolador**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.
- [26] MOHAN, N.; UNDELAND, T. M.; ROBBINS, W. P. **Power Electronics: Converters, Applications, and Design**. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, inc., 1995. 802p.
- [27] MURAKAMI, K.; KUDO, H.; TAGACHI, T.; YOSHIMO, M. **Compound Semiconductor Lighting Based on InGaN Ultraviolet LED and ZnS Phosphor System**. 2000 IEEE International Symposium on Compound Semiconductors, p. 449 – 454, Oct. 2000.
- [28] MUTHU, S.; GAINES, J. **Red, Green and Blue LED-Based White Light Source: Implementation Challenges and Control Design**. Conference Record of the 38<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, v. 1, p. 515 – 522, Oct. 2003.
- [29] MUTHU, S.; SCHUURMANS, F. J.; PASHLEY, M. D. **Red, Green, and Blue LED Based White Light Generation: Issues and Control**. Conference Record of the 37<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, v. 1, p. 327-333, Oct. 2002.
- [30] NARRA, P.; ZINGER, D. S. **An Effective LED Dimming Approach**. Conference Record of the 39<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, v. 3, p.1671 – 1676, Oct. 2004.
- [31] ORTEGA, A. V.; SILVA, I. N. da. **Technique for Application of Hi-Bright LED in Automobile Industry Through Intelligent Systems**. International Joint Conference on Neural Networks, v. 3, p. 2674 – 2679, May 2002.
- [32] Philips Electronics N. V. **Power Semiconductor Application Handbook**. Philips Semiconductor, 1994.
- [33] RICO-SECADES, M.; CALLEJA, A. J.; RIBAS, J.; COROMINAS, E. L.; ALONSO, J. M.; CARDESIN, J.; GARCIA, J. **Evaluation of a Low Cost Permanent Emergency Lighting System Based on High Efficiency LEDs**. Conference Record of the 38<sup>th</sup> IAS Annual Meeting, v. 1, p. 542-546, Oct. 2003.

- [34] RYLANDER, A.; WALLIN, E. **LIN – Local Interconnect Network – for Use as Sub-Bus in Volvo Trucks**. Master's Thesis - Computer Science and Engineering Chalmers University of Technology, Göteborg 2003.
- [35] SCHOEPF, T. J.; RIEDER, W. F. **Consequences for Automotive Relays of a 42 VDC Power Network in Vehicles**. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, v. 23, 1<sup>st</sup> ed., p. 177 – 182, March 2000.
- [36] SEIDEL, A. R.; BISOGNO, F. E.; PINHEIRO, H.; PRADO, R. N. do. **Self-Oscillating Dimmable Electronic Ballast**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v.50, n. 6, p. 1267-1274, Dec. 2003.
- [37] SHEU, J. K.; CHANG, S. J.; KUO, C. H.; SU, Y. K.; WU, L. W.; LIN, Y. C.; LAI, W. C.; TSAI, J. M.; CHI, G. C.; WU, R. K. **White-Light Emission From Near UV InGaN-GaN LED Chip Precoated With Blue/Green/Red Phosphors**. IEEE Photonics Technology Letters, v. 15, 1<sup>st</sup> ed., p. 18-20, Jan. 2003.
- [38] SILVA, M. L. **Luz, Lâmpadas e Iluminação**. Porto Alegre: Gráfica e Editora Palloti, 2002. 157p.
- [39] SILVEIRA, R. P. **Aplicação de uma Rede Fieldbus ao Controle de Reatores Eletrônicos para Lâmpadas HPS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- [40] SONG, Y. R.; WON, C-S.; AHN, H.; HAN, D-Y.; CHOI, Y-S.; LYM, S-J. **The Study on Optimal Design and Optical Properties of LED Module for Full-Color Displays**. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, v. 2, p. 956 – 959, May 1997.
- [41] SPECKS, J. W.; RAJNÁK, A. **LIN – Protocol, Development Tools, and Software Interfaces for Local Interconnect Networks in Vehicles**. 9<sup>th</sup> International Conference on Electronic Systems for Vehicles, Oct. 2000.
- [42] STEIGERVALD, D. A.; BHAT, J. C.; COLLINS, D.; FLETCHER, R. M.; HOLCOMB, M. O.; LUDOWISE, M. J.; MARTIN, P. S.; RUDAZ, S. L. **Illumination With Solid State Lighting Technology**. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, v. 8, 2<sup>nd</sup> ed., p. 310 –320, March-April 2002.
- [43] YOUNG, W. R., Jr.; WILSON, W. **Efficient Electric Vehicle Lighting Using LEDs**. Southcon/96. Conference Record, p. 276 – 280, June 1996.
- [44] ZORPETTE, G. **Let There be Light**. IEEE Spectrum magazine, v. 39, 9<sup>th</sup> ed., p. 70-74, Sep. 2002.