

ABORDAGEM BASEADA EM SISTEMAS INTELIGENTES PARA PROJETO DE BRAKE-LIGHTS USANDO COMPONENTES DO TIPO SMD

ANTONIO V. ORTEGA, IVAN N. DA SILVA

*Laboratório de Automação Inteligente de Processos e Sistemas, Departamento de Engenharia Elétrica,
Escola de Engenharia de São Carlos, USP
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, CEP 13566.590, São Carlos, SP, BRASIL
E-mails: {avortega, insilva}@sel.eesc.usp.br*

Abstract— Surface mount technology (SMT) is a method for constructing electronic circuits in which the components are mounted directly onto the surface of printed circuit boards. Such electronic devices are called surface-mount devices or SMDs. The advantages offered by the electronic component SMD LED (Light Emitting Diode) have caused a wide application of this device in replacement of conventional LEDs. This work shows an industrial application using artificial neural networks to estimate values of brake-lights luminous intensity from the design data. Although this work is aimed to the application of SMD LEDs in brake-lights, methods hereby developed and described can also be used in other applications, such as traffic lights, electronic panels of messages or any other application where SMD LEDs are used in groups. Results of industrial applications are presented to validate the proposed technique. From these results, it can be observed that the application of intelligent systems is an attractive approach for this type of problem.

Keywords— SMT, brake-light; LED; artificial neural networks; intelligent systems; automobile industry.

Resumo— Tecnologia de montagem de superfície (SMT) é um método para construção de circuitos eletrônicos, nos quais os componentes são montados diretamente sobre a superfície da placa de circuito impresso. Esses dispositivos eletrônicos são chamados de dispositivos de montagem de superfície ou SMDs. As vantagens oferecidas pelo componente eletrônico LED SMD tem causado uma grande aplicação desse dispositivo em substituição ao LED convencional. Este trabalho apresenta uma aplicação industrial usando redes neurais artificiais para estimar valores de intensidade luminosa de *brake-lights* a partir de dados de projeto. Embora o trabalho esteja direcionado para a aplicação de LEDs SMD em *brake-lights*, o trabalho aqui desenvolvido pode ser generalizado e usado em outras aplicações, tais como, semáforos de trânsito, painéis eletrônicos de mensagens ou qualquer outra aplicação onde use LEDs SMD em conjunto. Resultados de aplicações industriais são apresentados para validar a técnica proposta. Através desses resultados, pode-se observar que a aplicação de sistemas inteligentes é uma abordagem atrativa para este tipo de problema.

Palavras-chave— SMT, *brake-light*; LED; redes neurais artificiais; sistemas inteligentes; indústria automotiva.

1 Introdução

O componente eletrônico LED é um dispositivo semicondutor que emite luz e vem sendo utilizado em substituição das lâmpadas incandescentes, devido às suas vantagens, tais como: maior vida útil (em torno de 100.000 horas), maior resistência mecânica às vibrações, menor aquecimento, menor consumo de corrente elétrica e alta fidelidade em relação a cor de luz emitida (Peralta e Ruda, 1998).

Porém, em projetos onde ocorre a substituição de lâmpadas incandescentes por LEDs, deve-se considerar algumas características técnicas importantes do LED, tais como: corrente direta, corrente reversa, ângulo de visão e intensidade luminosa (Edwards, 2004).

Na indústria automobilística, o LED vem sendo utilizado em painéis de veículos, faróis (Voelcher, 2004) e está substituindo as tradicionais lâmpadas de leitura em ônibus. Uma aplicação típica é a substituição das lâmpadas incandescentes nos chamados *brake-lights* que constituem uma terceira luz de freio (Werner, 1994). A aprovação de protótipos de *brake-lights* é realizada através de medição da intensidade luminosa em diferentes ângulos e o valor mínimo de intensidade luminosa para cada ângulo é definido de acordo com a aplicação (Young e Wilson, 1996).

Normalmente, a maior dificuldade encontrada no desenvolvimento de *brake-lights* está no relacionamento dos seguintes parâmetros: intensidade luminosa (I_v) do LED, distância entre LEDs (d) e número de LEDs (n), com o efeito ou resultado que se deseja obter, ou seja, existe uma complexidade em se realizar um modelo por técnicas convencionais de modelagem que seja capaz de mapear adequadamente os relacionamentos entre estas grandezas. De fato, os projetos de protótipos de *brake-lights* têm sido feitos através de tentativa e erro, ocasionando um considerável custo de implementação devido ao tempo gasto nesta etapa. Além disso, o protótipo aprovado proveniente deste sistema pode não representar a melhor relação custo/benefício, pois não se obtém muitas variações de configurações de protótipos aprovados.

As redes neurais artificiais são aplicadas em casos como este, onde o modelamento matemático tradicional se torna complexo devido às não-linearidades do sistema. Estas redes são capazes de aprender a partir de seu ambiente e generalizar soluções, tornando-as atrativas para este tipo de aplicação.

Outra tendência atual é a substituição dos LEDs convencionais por LEDs do tipo SMD (Dispositivo de Montagem de Superfície). O aumento do consumo mundial de LEDs do tipo SMD de alta luminosidade

dade, associado ao aperfeiçoamento das técnicas de fabricação deste tipo de LED, tem ocasionado uma diminuição de seu custo, de maneira que começa a ficar atrativa a sua utilização em substituição dos LEDs tradicionais. O LED do tipo SMD apresenta também uma maior facilidade na etapa de montagem, sendo que a etapa de colocação do dispositivo pode ser automatizada e pode ser também utilizada uma máquina de colocação automática, denominada “*Pick and Place*”, resultando desta forma em um ganho considerável de tempo de processamento e, conseqüentemente, em uma diminuição do custo de montagem do equipamento que utiliza este tipo de LED.

Este artigo mostra uma abordagem industrial de utilização de redes neurais artificiais para estimar valores de intensidade luminosa de *brake-lights* a partir dos dados de projeto. Embora este trabalho esteja direcionado para a aplicação de LEDs do tipo SMD em *brake-lights*, os métodos aqui desenvolvidos e descritos também podem ser utilizados em outras aplicações, tais como em semáforos de trânsito, painéis eletrônicos de mensagem ou em quaisquer outras aplicações em que os LEDs do tipo SMD são aplicados em conjuntos.

A organização deste artigo é feita da seguinte forma. Na Seção 2 é descrita a aplicação de LEDs convencionais e SMD em *brake-lights*. Na Seção 3, apresentam-se alguns conceitos básicos relacionados com redes neurais artificiais. Na Seção 4 é abordado a metodologia e os materiais utilizados. Os resultados e a discussão mostrando a validação do trabalho são descritos na Seção 5. Na Seção 6 é apresentada a conclusão deste trabalho.

2 LEDs Convencionais e LEDs SMD Aplicados em *Brake-lights*

O LED é um dispositivo eletrônico composto por uma pastilha (Chip) de junção semicondutora que quando percorrida por uma corrente elétrica ocasiona a recombinação de elétrons e lacunas. Por meio da Fig. 1, pode-se ver a representação de uma junção sendo polarizada.

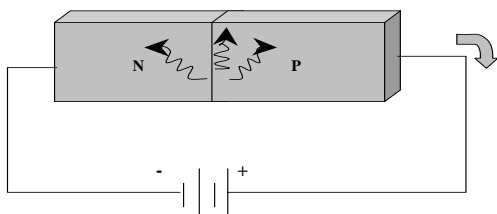


Figura 1. Junção PN sendo polarizada.

No entanto, esta recombinação exige que a energia dos elétrons livres seja transferida para um outro estado. Nas junções semicondutoras esta energia é desprendida em forma de calor e em forma de emissão de fótons, ou seja, emissão de luz (Streetman, 1999). No silício e no germânio a maior parte do desprendimento de energia se dá em forma de calor,

sendo a luz emitida insignificante. Porém, em outros materiais, tais como no fosfeto de arsenieto de gálio (GaAsP) ou no fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons de luz emitida é suficiente para construir uma fonte de luz bastante visível (Martin, 2005). Este processo de emissão de luz característico dos LEDs é chamado de eletroluminescência (Pecharroman-Gallego, 2004).

O dispositivo LED pode ser do tipo convencional ou SMD. Basicamente o LED é confeccionado por uma armação de dois terminais (Lead frame) com uma pastilha semicondutora (Chip) fixada em um terminal e conectada ao outro através de um fio de ouro (Wire bonding). Este conjunto é envolto por uma resina epóxi constituindo uma lente (Epoxy lens). Já o LED do tipo SMD apresenta o mesmo processo construtivo do LED convencional, diferenciando-se apenas pela ausência de terminais para inserção em furos. Por intermédio da Fig. 2, pode-se observar a representação da estrutura básica de um LED convencional e de um LED do tipo SMD.

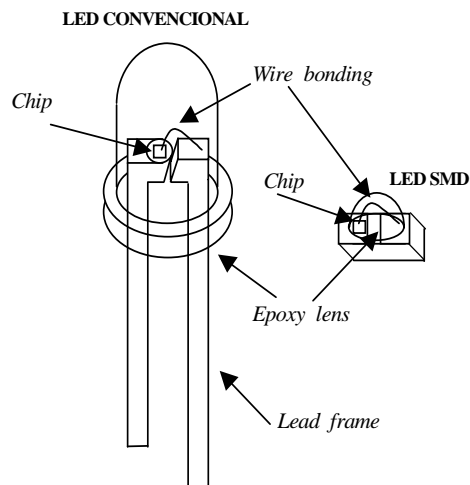


Figura 2. Representação da estrutura básica do LED convencional e LED SMD.

Para se efetuar a montagem industrial eletrônica de *brake-lights* utilizando-se componentes convencionais, ou seja, componentes com terminais para inserção em furos, deve-se realizar os seguintes passos:

- cortar os terminais destes componentes de acordo com a espessura da Placa de Circuito Impresso (PCI);
- inserir manualmente estes componentes na PCI;
- realizar a soldagem através da máquina de solda por onda.

Caso a montagem industrial eletrônica do *brake-light* seja feita com componentes do tipo SMD, os seguintes passos normalmente são seguidos:

- colocar a pasta de solda na PCI por intermédio do processo de serigrafia;
- utilizar a máquina “*Pick and Place*” para colocar os componentes SMD nos pontos predefinidos com a pasta de solda;

- soldar os componentes SMD através do forno de refusão.

Com relação ao diagrama eletrônico, os *brake-lights* são compostos por LEDs e resistores ligados em série e paralelo conforme ilustra a Fig. 3.

Em *brake-lights*, os LEDs são aplicados em conjuntos e dispostos, geralmente, em linha reta sobre uma placa de circuito impresso (PCI). Nesta PCI, além dos LEDs, existem os componentes eletrônicos, basicamente resistores, os quais são responsáveis pela limitação de corrente elétrica que circula pelos LEDs.

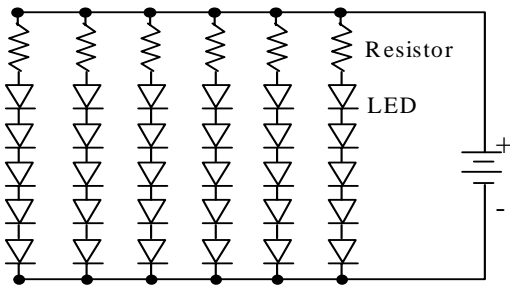


Figura 3. Esquema eletrônico do *brake-light*.

Os principais parâmetros utilizados em projetos de *brake-lights* são: a intensidade luminosa (I_v) do LED, a distância entre LEDs (d), e o número de LEDs (n). Através da Fig. 4, pode-se visualizar uma representação básica de dois *brake-lights*, um montado com LED convencional e o outro com LED SMD.

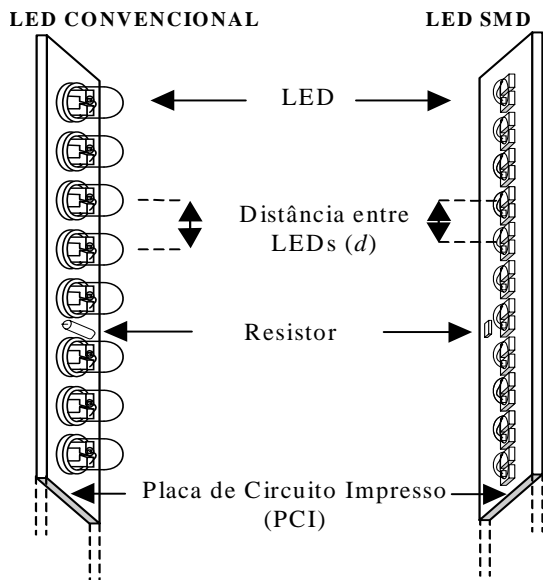


Figura 4. Representação de dois *brake-lights*: PCI montada com LED convencional e outra com LED SMD.

A principal função do *brake-light* é aumentar a segurança do veículo, atuando preventivamente, diminuindo assim o risco de colisões traseiras. Estudos mostram o desenvolvimento de *brake-lights* equipados com transmissores de sinais modulados que contém informações sobre o veículo no qual está instalado; os sinais são recebidos por outros veículos

que têm instalado o devido sistema de recepção destes sinais, e as informações destes sinais modulados são usadas para evitar as colisões traseiras (Griffiths et al., 2001).

Como não existe nenhum modelo ou técnica para projetos de *brake-lights*, os protótipos são então elaborados conforme o bom senso do projetista, isto é, através do método de tentativa e erro. Mas, a dificuldade consiste justamente na falta de linearidade na relação entre as grandezas que fazem parte do processo de emissão de luz em *brake-lights*.

Após a elaboração do protótipo do *brake-light* se faz necessário uma aprovação desta amostra. O processo para a validação do protótipo é feito a partir da medição da intensidade luminosa do *brake-light* em dezoito posições ou ângulos diferentes, posteriormente, estes valores obtidos em cada ângulo são comparados aos valores preestabelecidos por normas. O valor mínimo de intensidade luminosa (I_{VBL}) em cada ângulo varia conforme a aplicação. Na Fig. 5 se tem uma representação de um diagrama genérico de distribuição de intensidade luminosa do *brake-light* (I_{VBL}) em função do ângulo. A posição horizontal média é indicada por $0^\circ H$ e a posição vertical média é indicada por $0^\circ V$. Assim, a posição definida pelo par de ângulos ($5^\circ U$, $10^\circ R$) é representada através da posição sombreada mostrada na Fig. 5.

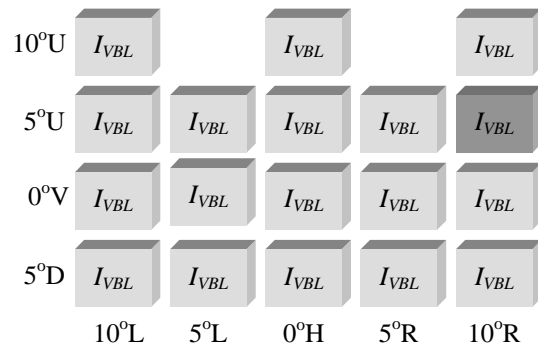


Figura 5. Diagrama genérico da intensidade luminosa (I_{VBL}) em relação ao ângulo.

3 Fundamentos de Redes Neurais Artificiais

Redes neurais artificiais são modelos computacionais inspirados no cérebro humano, estruturadas por um conjunto de unidades processadoras (“neurônios”) interligadas. As redes neurais artificiais se destacam por possuírem uma capacidade de aprender a partir de seu ambiente e, também, de generalizar soluções. Cada neurônio da rede pode ser modelado conforme mostra a Fig. 6.

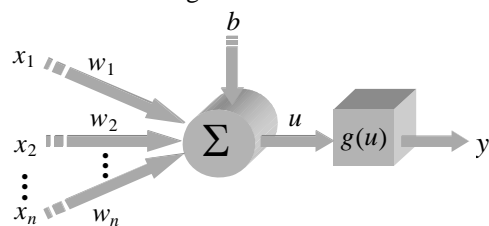


Figura 6. Esquema do neurônio artificial.

O modelo matemático que descreve o comportamento do neurônio artificial é expresso pela seguinte equação:

$$y = g\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b\right) \quad (1)$$

onde:

- n é o número de entradas do neurônio.
- w_i é o peso associado com a i -ésima entrada.
- b é o limiar associado ao neurônio.
- x_i é a i -ésima entrada do neurônio.
- $g(\cdot)$ é a função de ativação do neurônio.
- y é a saída do neurônio.

De forma simples, um neurônio artificial opera da seguinte forma:

- os sinais são apresentados à entrada;
- cada sinal é multiplicado por um peso que representa a sua influência na saída da unidade;
- realiza-se a soma ponderada dos sinais, resultando em um nível de atividade;
- caso este nível de atividade exceda um certo limite (threshold), a unidade produz uma saída.

Para aproximar qualquer função contínua não linear, pode-se utilizar uma rede neural com apenas uma camada escondida. No entanto, para aproximar funções que não sejam contínuas em seu domínio, existe a necessidade de aumentar a quantidade de camadas escondidas. Portanto as redes neurais apresentam um grande potencial para realizar o mapeamento de processos não lineares, identificando o relacionamento entre as grandezas de sistemas que geralmente é inalcançável por técnicas convencionais.

Neste trabalho, utiliza-se uma rede perceptron multicamadas (Haykin,1999) para mapear o relacionamento existente entre as variáveis envolvidas com o projeto de *brake-lights*. Como resultado final, visa-se a obtenção de valores que indiquem o nível de intensidade luminosa produzida pelo equipamento.

A estrutura básica de uma rede do tipo perceptron, com m entradas e p saídas, pode ser ilustrada através da Fig. 7.

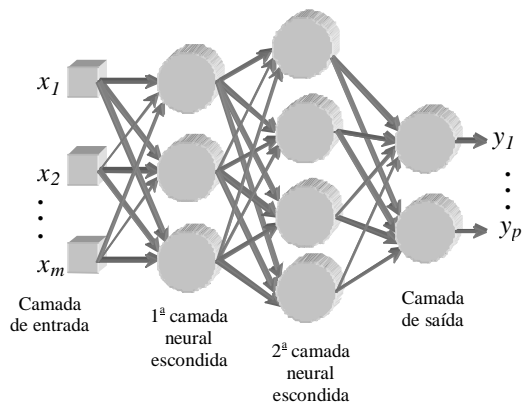


Figura 7. Rede Perceptron multicamadas.

As informações são introduzidas na rede pela camada de entrada; nas camadas intermediárias ou escondidas, executa-se grande parte do processamento, enquanto a camada de saída é responsável pela resposta da rede.

4 Materiais e Métodos

Para este trabalho foram construídas 45 amostras de *brake-lights*, conforme descrito na Seção 2, com a seguinte variação de parâmetros:

- distância entre LEDs (d): 4,5 mm, 5,5 mm e 6,5 mm;
- número de LEDs (n): 16, 22 e 28;
- intensidade luminosa do LED (I_V): 600 mcd, 800 mcd, 1200 mcd, 1500 mcd e 1800 mcd.

Esta combinação de parâmetros referente a cada amostra (A_m) pode ser vista através da Tabela 1.

Tabela 1. Combinação dos Parâmetros Para Cada Amostra.

A_m	$d(\text{mm})$	$n(\text{und.})$	$I_V(\text{mcd})$	A_m	$d(\text{mm})$	$n(\text{und.})$	$I_V(\text{mcd})$
01	4,5	16	600	24	5,5	22	1500
02	4,5	16	800	25	5,5	22	1800
03	4,5	16	1200	26	5,5	28	600
04	4,5	16	1500	27	5,5	28	800
05	4,5	16	1800	28	5,5	28	1200
06	4,5	22	600	29	5,5	28	1500
07	4,5	22	800	30	5,5	28	1800
08	4,5	22	1200	31	6,5	16	600
09	4,5	22	1500	32	6,5	16	800
10	4,5	22	1800	33	6,5	16	1200
11	4,5	28	600	34	6,5	16	1500
12	4,5	28	800	35	6,5	16	1800
13	4,5	28	1200	36	6,5	22	600
14	4,5	28	1500	37	6,5	22	800
15	4,5	28	1800	38	6,5	22	1200
16	5,5	16	600	39	6,5	22	1500
17	5,5	16	800	40	6,5	22	1800
18	5,5	16	1200	41	6,5	28	600
19	5,5	16	1500	42	6,5	28	800
20	5,5	16	1800	43	6,5	28	1200
21	5,5	22	600	44	6,5	28	1500
22	5,5	22	800	45	6,5	28	1800
23	5,5	22	1200				

O equipamento utilizado para a medição da intensidade luminosa das amostras foi um fotômetro, o qual tem acoplado um dispositivo que permite a variação do ângulo no sentido vertical e horizontal. Desta forma, torna-se possível obter o valor da intensidade luminosa nos 18 ângulos diferentes.

Inicialmente, a primeira amostra é colocada no dispositivo de medição. O primeiro ângulo é posicionado, executando-se a medição da intensidade luminosa e registrando seu valor; este procedimento

é repetido até que se registre o valor da intensidade luminosa referente ao último ângulo da amostra.

A amostra é retirada do dispositivo e uma nova amostra é colocada para a medição da intensidade luminosa nos diferentes ângulos, este procedimento se repete até que se registre o último valor da intensidade luminosa referente ao último ângulo da última amostra.

Através dos dados de projeto da Tabela 1 e dos resultantes da medição da intensidade luminosa das amostras de *brake-lights* nos diferentes ângulos, foi realizado o treinamento de uma rede perceptron multicamadas.

Durante esta fase foi também efetuada uma variação dos parâmetros da rede, alterando-se o número de camadas, o número de neurônios por camada, a função de ativação de cada camada e o tipo de treinamento, a fim de se obter uma topologia de rede que gerasse o menor erro quadrático médio, e que garantisse que a generalização fosse eficiente.

A topologia escolhida foi constituída de duas camadas escondidas, com 5 neurônios na primeira camada escondida e 10 neurônios na segunda camada. O algoritmo de treinamento utilizado foi o Levenberg-Marquardt (Hagan e Menhaj, 1994). Assim, as entradas da rede são definidas pelos 03 parâmetros principais envolvidos com o projeto de break lights, ou seja:

- distância entre LEDs $\rightarrow d$ (mm)
- número de LEDs $\rightarrow n$
- intensidade luminosa do LED $\rightarrow I_V$ (mcd)

A saída da rede é composta por um único sinal que fornece qual o nível de intensidade produzida pelo *brake-light* em determinado ângulo, ou seja:

- intensidade luminosa do *brake-light* $\rightarrow I_{VBL}$ (cd)

Após o treinamento, usando os 18 ângulos diferentes, um treinamento para cada ângulo, foi possível estimar então a intensidade luminosa total produzida pelo *brake-light* nos diferentes ângulos. Para a validação da abordagem proposta, utilizam-se dados advindos de amostras que não foram usados no treinamento da rede. Uma comparação entre os valores estimados pela rede e aqueles fornecidos pelos testes experimentais é efetuada para analisar a eficiência da abordagem proposta.

5 Resultados e Discussão

Após o treinamento da rede, a modelagem neural foi utilizada para obter valores de intensidade luminosa de *brake-lights* conforme descrito anteriormente. A Fig. 8 ilustra uma comparação entre os valores de intensidade luminosa (I_{VBL}) obtidos por testes experimentais (TE) com aqueles estimados pela rede neural artificial (RNA). Nesta configuração (Situação I), a amostra utilizada apresenta a distância (d) entre LEDs igual a 4,5 mm, o número de LEDs (n)

é igual a 28, e a intensidade luminosa de cada LED (I_V) possui valor igual a 800 mcd.

10°U	3,3 (RNA) 3,4 (TE)	10,2 (RNA) 10,0 (TE)	5,3 (RNA) 5,1 (TE)		
5°U	6,0 (RNA) 5,9 (TE)	10,1 (RNA) 9,7 (TE)	15,8 (RNA) 15,0 (TE)	11,8 (RNA) 12,1 (TE)	6,3 (RNA) 6,5 (TE)
0°V	6,0 (RNA) 6,3 (TE)	11,3 (RNA) 11,6 (TE)	19,4 (RNA) 19,9 (TE)	13,7 (RNA) 14,1 (TE)	7,8 (RNA) 7,5 (TE)
5°D	5,3 (RNA) 5,4 (TE)	9,0 (RNA) 8,8 (TE)	15,9 (RNA) 15,5 (TE)	11,9 (RNA) 12,3 (TE)	6,1 (RNA) 6,2 (TE)
	10°L	5°L	0°H	5°R	10°R

Figura 8. Ilustração comparativa (Situação I).

A partir da Fig. 8 observa-se que o erro relativo médio entre os valores de intensidade luminosa obtidos pelo teste experimental e aqueles fornecidos pela rede neural artificial ficou em torno de 3,0% com uma variância de 1,1%. Nota-se que a generalização efetuada pela rede para a estimação de valores de intensidade luminosa nos diferentes ângulos se mostra satisfatória.

A Fig. 9 ilustra uma outra comparação entre os valores de intensidade luminosa (I_{VBL}) obtidos por testes experimentais (TE) com aqueles estimados pela rede neural artificial (RNA). Para essa configuração (Situação II), a amostra utilizada apresenta a distância (d) entre LEDs igual a 6,5 mm, o número de LEDs (n) é igual a 22, e a intensidade luminosa de cada LED (I_V) possui valor igual a 1500 mcd.

Através dos valores expostos na Fig. 9, observa-se que o erro relativo médio entre os valores de intensidade luminosa obtidos pelo teste experimental e aqueles fornecidos pela rede neural artificial ficou em torno de 3,0% com uma variância de 1,6%.

10°U	5,1 (RNA) 4,9 (TE)	9,0 (RNA) 8,8 (TE)	3,5 (RNA) 3,6 (TE)		
5°U	9,8 (RNA) 10,0 (TE)	14,0 (RNA) 14,5 (TE)	19,1 (RNA) 18,3 (TE)	13,7 (RNA) 14,4 (TE)	8,8 (RNA) 9,2 (TE)
0°V	10,9 (RNA) 11,3 (TE)	18,9 (RNA) 18,3 (TE)	24,0 (RNA) 24,3 (TE)	17,7 (RNA) 17,8 (TE)	9,2 (RNA) 9,5 (TE)
5°D	9,2 (RNA) 8,9 (TE)	13,5 (RNA) 13,3 (TE)	18,7 (RNA) 19,4 (TE)	14,5 (RNA) 14,7 (TE)	6,6 (RNA) 6,9 (TE)
	10°L	5°L	0°H	5°R	10°R

Figura 9. Ilustração comparativa (Situação II).

Pode-se também comprovar a validação deste trabalho observando a comparação entre os valores experimentais (TE) e os valores estimados pela rede (RNA) para ângulos fixos em posições como (5°L, 0°V) e (0°H, 5°U) {Situação III}. Esta análise comparativa é mostrada através da Tabela 2, a qual foi obtida a partir da realização de quatro treinamentos distintos, sendo que no primeiro treinamento não foram usadas as amostras 08, 15, 25 e 34; no segundo treinamento não foram usadas as amostras 03, 10, 27 e 38; no terceiro treinamento não foram usadas as amostras 05, 20, 30 e 40; e no

quarto treinamento não foram usadas as amostras 07, 14, 22, e 43. Nessa tabela a coluna “Erro(%)” fornece o erro relativo entre os valores obtidos por ensaios experimentais e aqueles computados pela abordagem neural.

Tabela 2. Comparação entre valores de intensidade luminosa para posições fixas em (5°L, 0°V) e (0°H, 5°U) {Situação III}.

Am	Ângulos						
	(5°L, 0°V)			(0°H, 5°U)			
	RNA	TE	Erro (%)	RNA	TE	Erro (%)	
03	13,5	13,8	2,2	14,8	15,3	3,3	
05	21,2	21,9	3,2	21,5	22,5	4,4	
07	9,9	10,2	2,9	11,9	12,6	5,6	
08	15,1	15,4	1,9	16,4	17,0	3,5	
10	25,8	25,2	2,4	25,9	26,9	3,7	
14	19,8	20,7	4,3	23,6	24,1	2,1	
15	26,9	27,1	0,7	29,0	30,7	5,5	
20	18,9	18,2	3,8	18,3	18,6	1,6	
22	11,0	10,7	2,8	11,0	11,4	3,5	
25	18,8	19,5	3,6	22,4	22,1	1,4	
27	11,5	11,9	3,4	12,9	12,2	5,7	
30	23,0	23,4	1,7	21,8	22,0	0,9	
34	15,5	14,9	4,0	16,0	15,5	3,2	
38	13,0	13,8	5,8	15,3	14,5	5,5	
40	21,8	22,1	1,4	19,8	20,9	5,3	
43	14,9	15,3	2,6	15,5	15,8	1,9	
Erro Médio			2,9	Erro Médio			3,6
Variância			1,6	Variância			2,7

No processo de seleção da melhor arquitetura neural usada nas simulações foi adotada a técnica de “cross-validation” (Haykin, 1999).

6 Conclusão

O presente trabalho apresenta uma técnica baseada na utilização de redes neurais artificiais que torna possível a obtenção de valores de intensidade luminosa de *brake-lights* (I_{VBL}), levando-se em conta as características do projeto. A ferramenta desenvolvida constitui-se assim numa nova técnica que pode ser aplicada eficientemente nesse tipo de problema.

A metodologia desenvolvida pode ser generalizada e usada em outras aplicações que utilizam LEDs em conjuntos, tais como ocorre em semáforos de trânsito e painéis eletrônicos de mensagem.

A ferramenta apresentada contribui significativamente para a redução de custo de implementação de *brake-lights*, pois minimiza o tempo gasto no projeto do protótipo. A ferramenta permite também

simular várias opções de configurações de *brake-lights*, permitindo então a escolha de uma amostra que ofereça uma relação custo/benefício adequada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro na aquisição dos equipamentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho (Programa PIPE – Processo N° 04/08973-9).

Referências Bibliográficas

- Edwards, P.R., Martin, R.W., Watson, I.M., Liu, C., Taylor, R.A., Rice, J.H., Robinson, J.W., Smith, J.D. (2004). Quantum dot emission from site-controlled InGaN/GaN micropyramid arrays, *Applied Physics Letters*, pp. 4281-4283.
- Griffiths, P., Langer, D., Misener, J.A., Siegel M., Thorpe, C. (2001). Sensor-Friendly Vehicle and Roadway Systems, *IEEE Instrumentation and Measurement*, pp. 1036-1040.
- Hagan, M.T., Menhaj, M.B. (1994). Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm, *IEEE Trans. on Neural Networks*, 6 (5): 989-993.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks - A Comprehensive Foundation*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Martin, R.W., Edwards, P.R., Taylor, R.A., Rice, J.H., Robinson, J.W., Smith, J.D., Liu, C., Watson, I.M. (2005). Luminescence properties of isolated InGaN/GaN quantum dots, *Physica Status Solidi (a)*, pp. 372-376.
- Pecharroman-Gallego, R., Martin, R.W., Watson, I.M. (2004). Investigation of the unusual temperature dependence of InGaN/GaN quantum well photoluminescence over a range of emission energies, *Journal of Physics D: Applied Physics*, pp. 2954-2961.
- Peralta, S.B., Ruda, H.E. (1998). Applications for Advanced Solid-State Lamps, *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 4, pp. 31-42.
- Streetman, B.G., Banerjee, S. (1999). *Solid State Electronic Devices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Voelcher, J. (2004). Top 10 tech cars, *IEEE Spectrum*, Vol. 41, pp. 20-27.
- Werner, K. (1994). Higher Visibility for LEDs, *IEEE Spectrum*, Vol. 39, pp. 30-34.
- Young, W.R., Wilson, W. (1996). Efficient Electric Vehicle Lighting Using LEDs, *Proc. of Southcon/*, pp. 276-280.