

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO**

**PREDIÇÃO DE RECEITAS DE CORES NA ESTAMPARIA TÊXTIL
ATRAVÉS DE REDES NEURAIIS COM FUNÇÃO DE BASE RADIAL**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

SANDRO RAUTENBERG

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO de 1998

**PREDIÇÃO DE RECEITAS DE CORES NA ESTAMPARIA TÊXTIL
ATRAVÉS DE REDES NEURAS COM FUNÇÃO DE BASE RADIAL**

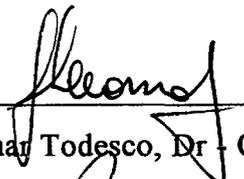
SANDRO RAUTENBERG

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA.
ESPECIALIDADE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO

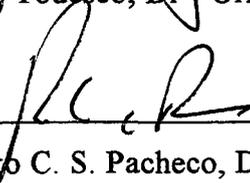


Ricardo de Miranda Barcia, Ph. D

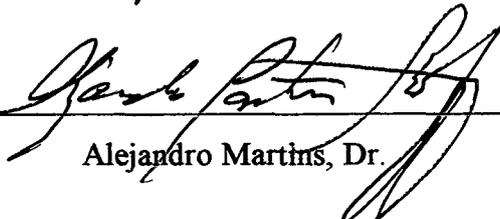
BANCA EXAMINADORA



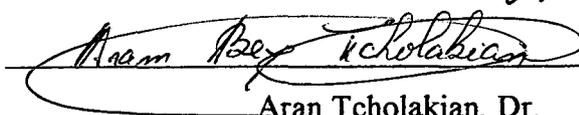
José Leomar Todesco, Dr - Orientador



Roberto C. S. Pacheco, Dr.



Alejandro Martins, Dr.



Aran Tcholakian, Dr.

“Houve uma época em que a Indústria Têxtil contribuiu significativamente para o que hoje é a Computação. Agora é chegado o momento da Computação contribuir com o que hoje é a Indústria Têxtil”

Robert Hirschler

À MINHA MÃE (In memorian)

Dedico este trabalho a minha mãe.

Obrigado **MÃE** por tudo que não tive oportunidade de agradecer...

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, oh bom Deus, obrigado pela iluminação, paz e saúde ao longo desta jornada. Obrigado também por colocar pessoas tão grandiosas pelo caminho. Sei que em todos os momentos foi a sua presença a responsável pelas palavras amigas expressas por estas que agora são tão estimadas. E se errei foi por conta da minha imperfeição, a qual tentastes corrigir guiando-me ao encontro do meu sonho ao lado de seres tão especiais.

Gostaria de agradecer à Cia Têxtil Karsten pelo incentivo financeiro e tecnológico empreendido. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pela oportunidade de convívio com as pessoas que comigo tornaram possível a realização deste trabalho. E a minha família pela compreensão do tempo que estive ausente.

Um obrigado em especial aos professores José Leomar Todesco, Roberto Pacheco e Alejandro Martins. Aos profissionais Lauro Dalke, Mario Hausmann, Adilson Weighneckt e Alexandre Buettgen. Estes, sem dúvida, me ajudaram em muito no alcance deste título tão desejado.

Obrigado pela confiança depositada aos professores Marcel Hugo e Jomi F. Hübner.

Não posso deixar de agradecer aos amigos. Esta vitória é de todos. Valeu a força Alexandre Gonçalves, Maria S. Dietrich, Eliane Maske, Emanuel C. de Matos Jr., Vilmar Kutschinski, Sarajane Peres, Susanne Correia, Benício e Tereza Bartolomeu, Raimundo Meisen, Sérgio Rivero, Adriano Mendonça, Adriano Heis, Rubia e Gilmário dos Santos, Walfrid Kopsch e Cristina Ricken.

Gostaria de agradecer ao Sr. Gunar Karsten (in memoriam) pela confiança e pelas sábias palavras, assim como a sua visão de futuro.

E finalmente, gostaria de agradecer a pessoa que em pouco tempo se tornou a pessoa mais importante da minha existência. Obrigado Adriana.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VII |
| LISTA DE QUADROS..... | VIII |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | IX |
| RESUMO..... | X |
| ABSTRACT..... | XI |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| | |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 3 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... | 4 |
| | |
| 2 A COR E A ESTAMPARIA TÊXTIL..... | 6 |
| | |
| 2.1 A COR..... | 6 |
| 2.1.1 A FONTE LUMINOSA..... | 7 |
| 2.1.2 O OBJETO OBSERVADO..... | 8 |
| 2.1.3 O OLHO DO OBSERVADOR..... | 9 |
| 2.2 A COR NA ESTAMPARIA TÊXTIL..... | 10 |
| 2.2.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE CORES..... | 11 |
| 2.2.2 O ESTADO DA ARTE NA PREDIÇÃO DE RECEITAS DE CORES..... | 12 |
| 2.2.3 VARIÁVEIS DO PROCESSO PRODUTIVO..... | 13 |
| 2.2.4 CUIDADOS NO PROCESSO DE AUTOMATIZAÇÃO..... | 14 |
| 2.3 RESUMO E CONCLUSÕES..... | 17 |
| | |
| 3 REDES NEURAIS COM FUNÇÃO DE BASE RADIAL..... | 19 |
| | |
| 3.1 RNAs..... | 20 |
| 3.1.1 O NEURÔNIO BIOLÓGICO E O NEURÔNIO ARTIFICIAL..... | 20 |
| 3.1.2 O QUE SÃO AS REDES NEURAIS..... | 22 |
| 3.1.3 FASES NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA RNA..... | 23 |
| 3.1.4 AS APLICAÇÕES DE RNAs..... | 27 |
| 3.1.5 VANTAGENS DAS RNAs..... | 31 |
| 3.1.6 DESVANTAGENS DAS RNAs..... | 31 |
| 3.2 RNAs COM FUNÇÕES DE BASE RADIAL..... | 32 |
| 3.2.1 O TREINAMENTO..... | 35 |
| 3.2.2 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES COM RBFs..... | 38 |
| 3.2.3 POR QUE UTILIZAR A RBF NA SOLUÇÃO..... | 39 |
| 3.3 RESUMO E CONCLUSÕES..... | 40 |
| | |
| 4 A APLICAÇÃO..... | 42 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1 | INTRODUÇÃO..... | 42 |
| 4.2 | O AMBIENTE ENCONTRADO..... | 43 |
| 4.3 | A ADEQUAÇÃO DO AMBIENTE..... | 45 |
| 4.4 | A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA..... | 46 |
| 4.4.1 | A COMPOSIÇÃO DA RECEITA..... | 49 |
| 4.4.2 | A ESPECIFICAÇÃO DA RECEITA..... | 51 |
| 4.5 | RESULTADOS ALCANÇADOS..... | 58 |
| 4.5.1 | CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÃO COM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.4)..... | 59 |
| 4.5.2 | CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÃO SEM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.5)..... | 59 |
| 4.5.3 | PREDIÇÃO DOS GRAMAS COM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.6)..... | 59 |
| 4.5.4 | PREDIÇÃO DOS GRAMAS SEM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.7)..... | 59 |
| 4.6 | OBSERVAÇÕES..... | 60 |
| 4.7 | LIMITAÇÕES DA SOLUÇÃO PROPOSTA..... | 61 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 62 |
| 5.1 | CONCLUSÕES..... | 62 |
| 5.2 | TRABALHOS FUTUROS..... | 63 |
| | ANEXOS..... | 65 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Princípio do processo de visualização da cor..... | 07 |
| Figura 2.2: Organização do espectro visível, (Zollinger, 1996)..... | 08 |
| Figura 2.3: Exemplo de um espectrofotômetro..... | 15 |
| Figura 3.1: Ilustração do neurônio biológico e do neurônio artificial, (Starke, 1995).. | 21 |
| Figura 3.2: Exemplo de uma RNA..... | 22 |
| Figura 3.3: Representação gráfica de uma RBF..... | 32 |
| Figura 3.4: Representação gráfica das funções gaussiana e multi-quadrática, (Orr, 1996)..... | 34 |
| Figura 3.5: Exemplo de aplicação do método de Aproximação Sucessiva..... | 37 |
| Figura 4.1: Espectrofotômetro utilizado na solução proposta..... | 47 |
| Figura 4.2: Representação gráfica da escala Lab* de cores..... | 48 |
| Figura 4.3: Comportamento do sistema..... | 52 |
| Figura 4.4 : Representação gráfica da primeira alternativa..... | 54 |
| Figura 4.5 : Representação gráfica da segunda alternativa..... | 56 |
| Figura 4.6: Representação gráfica da terceira alternativa..... | 57 |
| Figura 4.7: Representação gráfica da quarta alternativa..... | 58 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 2.1: Aspectos relevantes na automatização do processo de predição de receitas de cores..... | 16 |
| Quadro 3.1: Comparativo entre o neurônio biológico e o neurônio artificial..... | 21 |
| Quadro 3.2: Exemplos de modelos de RNAs, (Loesch, 1996)..... | 24 |
| Quadro 3.3: Algoritmo de treinamento do método de aproximação sucessiva, (Tontini, 1995)..... | 36 |
| Quadro 4.1: Comparativo de receitas de cores especificadas existente e receitas utilizadas..... | 45 |
| Quadro 4.2: Equações de conversão dos dados espectrais, (Billmeyer & Saltzman, 1981)..... | 48 |
| Quadro 4.3: Composições de receitas utilizadas na estamperia..... | 50 |
| Quadro 4.4: As melhores configurações de RNA para a composição..... | 51 |
| Quadro 4.5: As melhores configurações de RNA para a predição da proporção de utilização dos corantes..... | 53 |
| Quadro 4.6: As melhores configurações de RNA para a concentração com a normalização empregando a radiciação..... | 54 |
| Quadro 4.7: As melhores configurações de RNA para a concentração com a normalização sem o emprego da radiciação..... | 55 |
| Quadro 4.8: As melhores configurações de RNA para a especificação dos gramas de corantes com a normalização empregando a radiciação..... | 56 |
| Quadro 4.9: As melhores configurações de RNA a especificação dos gramas de corantes com a normalização sem o emprego da radiciação..... | 57 |
| Quadro 4.10 : Comparativo do desempenho da solução proposta..... | 60 |

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD: *Computer-Aided Design*.

CD : Conjuntos Difusos.

IA: Inteligência Artificial.

Kg: quilograma.

Lab*: escala de representação de cores.

MLP: *Multi Layer Perceptron*.

nm: nanômetros.

RBF: *Radial Basis Function*.

RNA: Rede Neural Artificial.

xyz: coeficientes de XYZ.

XYZ: escala de representação de cores.

RESUMO

Ligada ao sentido da visão, a cor é uma das melhores experiências que acompanham o homem ao longo da história. É através dela, por exemplo, que se consegue admirar uma paisagem paradisíaca. Porém, para o ser humano, cor é uma experiência temporal e subjetiva, interpretada diferentemente por cada indivíduo. Apesar de toda a subjetividade intrínseca, o homem sempre tentou transmitir tal sensação aos diversos objetos que o rodeiam. Hoje, com as exigências do mercado, a cor tem suma importância em qualquer empresa que transmita a sua sensação a seus produtos. Na indústria têxtil não é diferente, a cor tem papel fundamental para a satisfação do cliente. Entretanto, produzir uma determinada tonalidade para estampar sobre um tecido não é uma tarefa fácil. Tecnicamente chamada de predição de receitas de cores, esta tarefa requer conhecimento especializado, adquirido ao longo de muitos anos. Modelar este conhecimento computacionalmente é muito difícil e quando isto se faz possível, por muitas vezes, os resultados ficam aquém da intuição humana. Na intenção de melhorar o processo computacional, modelando a intuição humana empregada, recorreu-se a tecnologia de Inteligência Artificial (IA). Uma das vantagens dessa tecnologia é resolver problemas simulando o raciocínio humano, tratando a subjetividade intrínseca. Neste sentido, este trabalho propõe a implementação de um sistema computacional baseado em Redes Neurais RBF. Os resultados alcançados desta solução demonstram a sua viabilidade.

ABSTRACT

Connected on the vision sense, color is one of the best experiences that belongs to human life. Through it, for example, it's possible to admire a beautiful landscape. However, for humans, color is a temporal and subjective experience, differently interpreted by each person. Nevertheless, in spite of every intrinsic subjectivity, the human always tried to transmit this sensation to everything that surround him. Today, with the market's demands, color has a lot of importance in any enterprise that transmits its sensation on its products. In textile industry it isn't different, color has a fundamental role to the client's satisfaction. However, to produce a determinate shade to print on fabric isn't an easy job. Technically called Recipe Color Prediction, this job requires specialized knowledge, acquired during many years. Modeling this knowledge, by computer techniques, is very difficult and when that's possible, for many times, the results are less expressive than the human intuition. On intention to improve the computer process, modeling the human intuition, it's appealed to the Artificial Intelligence Technology. One advantage of this technology is solve problems reproducing the human reasoning, dealing with the intrinsic subjectivity. So, this work proposes a computer system, based on the RBF Neural Network. The reached results of this proposed solution demonstrate its viability.

1 INTRODUÇÃO

*“Não é triste mudar de idéia.
Triste é não ter idéia para
mudar”*

Barão de Itararé

Trabalhar em uma indústria têxtil é uma experiência notável. Seu processo de transformação desde o algodão até o artigo final confeccionado é rico em ensinamentos. Tanto é que a evolução processo produtivo têxtil, ao longo da história, ensinou em muito o ser humano. Basta lembrar que foram os teares de cartões perfurados uma das inspirações para o que hoje é o computador moderno.

Atualmente, a indústria têxtil brasileira está passando por um processo de renovação, substituindo gradualmente seus equipamentos por outros mais modernos e, teoricamente, mais produtivos, (Bruno, 1994), (Oliveira & Medeiros, 1996). Isso se deve, principalmente, pelas fortes pressões de mercado, especialmente, dos países asiáticos, cujas bases tecnológicas e estratégias mercadológicas tem expandido fortemente seus domínios sobre os consumidores de têxteis no mundo, (Rodrigues, 1996).

Com os competidores internacionais tecnologicamente melhor estabelecidos é necessário tomar decisões estrategicamente efetivas para se impor no mercado. No entanto, é preciso mais do que equipamentos de última geração. Deve-se anular completamente as disfunções que podem ser evitadas, dando prioridade à formação de conhecimentos e rotinas.

Fazer uma introspeção, tentando maximizar a qualidade e minimizar o tempo de resposta e os custos de produção é um desafio e um ponto crucial em qualquer cadeia produtiva. É óbvio que com o advento do computador está se aumentando em muito a

capacidade competitiva das organizações. Porém, deter a informação muitas vezes não basta, deve-se saber como transformá-la em uma vantagem competitiva.

Bruno (1994) cita que em um processo produtivo age-se, tradicionalmente, quase que exclusivamente de maneira corretiva, ou seja, a partir de detectado o defeito, procura-se eliminar a causa, esperando assim que o defeito não volte a ocorrer. A busca dessas causas é baseada na experiência pessoal dos profissionais que realizam uma análise intuitiva da discrepância. Portanto, depende-se de habilidades pessoais e de outras influências muitas vezes ignoradas, como os estados psicológicos e conceitos preestabelecidos. Para quem está na busca incansável de um patamar de qualidade elevado, sofrendo com pressões do mercado, agir de forma exclusivamente corretiva é suicídio. Deve-se evitar o reprocesso, fornecendo aos profissionais apoio em ferramentas ou métodos seguros, melhorando assim, os níveis de produção.

Porém, isso em uma indústria têxtil não é uma tarefa fácil. Uma indústria têxtil é constituída por vários processos interligados, onde a saída de um processo é insumo de outro. Construir uma ferramenta que otimize todo o processo produtivo é praticamente impossível. Deve-se, portanto, agir localmente, dimensionando bem o escopo do problema.

Neste sentido, este trabalho limita-se a um determinado processo têxtil, o desenvolvimento de amostras estampadas. Os objetivos deste processo são desenvolver receitas de cores que serão empregadas na estampagem do tecido e, conseqüentemente, garantir a qualidade dos insumos recebidos de processos anteriores.

Para a indústria têxtil o desenvolvimento de receitas de cores é, sem dúvida, um dos processos mais importantes. A este processo estão atreladas questões como a qualidade do produto, a beleza estética, a criatividade da arte, entre outros. De um modo geral, são questões que chamam a atenção do consumidor final, (Farina, 1990).

No entanto, na maioria das indústrias, o desenvolvimento de receitas ainda é muito primitivo, se resumindo em tentativas de se chegar a uma cor desejada. Neste processo, o indivíduo encarregado, o colorista, fazendo o uso de sua experiência, mistura os corantes para obtenção da cor desejada, (Ribeiro, 1987). Por muitas vezes, o

resultado deste processo é insatisfatório, demonstrando consideráveis índices de falhas e uma quantidade razoável de material desperdiçado. Estas falhas, devido ao método utilizado, ocorrem mesmo quando o colorista é considerado um perito na sua área de atuação.

Por isso, com o intuito de auxiliar o colorista no desenvolvimento de receitas de cores, é proposto um sistema computacional capaz de simular o raciocínio humano e tratar algumas das variáveis presentes no ambiente de desenvolvimento de cores têxteis. O sistema proposto é apoiado na tecnologia de Redes Neurais Artificiais. Tal tecnologia é caracterizada pela sua capacidade de captar e armazenar o conhecimento, e tratar variáveis, muitas vezes ignoradas, através de um mapeamento entre entradas e saídas desejadas.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é a construção de uma ferramenta computacional que vise auxiliar o colorista na predição de receitas de cores na estamparia têxtil, podendo ainda, diminuir o desperdício de materiais e do retrabalho; proteger o meio ambiente; melhorar a qualidade do produto; diminuir o custo de produção; preservar o *know-how* do colorista; e possibilitar futuros treinamentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como já mencionado, o colorista se apoia em seu conhecimento adquirido através do tempo para predizer o quanto de cada corante precisa ser misturado para elaborar a cor desejada. Deste modo, o profissional está altamente propenso à falhas, acarretando em retrabalho e material desperdiçado. A existência de uma ferramenta modelada ao ambiente produtivo, fornecendo um ponto de partida muito mais preciso, auxiliaria em muito no trabalho diário do colorista. Contudo, pode-se justificar o presente trabalho em outros contextos, como por exemplo:

- **ambiental:** na indústria têxtil são muitos os materiais desperdiçados que são altamente nocivos ao meio ambiente. Infelizmente, os corantes se encontram nesta situação. Estes materiais requerem um tratamento prévio antes de serem despejados. Uma vez diminuído o desperdício, o tratamento prévio se torna muito mais eficaz, provocando assim uma menor taxa de poluição. É bom lembrar que esse fator é sensibilizante ao se ingressar no mercado europeu. Comunidades européias zelam por produtos que não poluam o meio ambiente.
- **produtividade:** uma vez diminuído o índice de retrabalho, profissionais envolvidos no processo teriam muito mais tempo disponível para a produção de novos trabalhos ou para tarefas mais nobres como a capacitação profissional. Sabe-se que hoje é exigido um novo perfil do profissional, o qual deve ser o mais capacitado e crítico possível. Com a existência de uma ferramenta computacional adequada, o treinamento de novos integrantes do processo se tornaria muito mais fácil.
- **qualidade superior do produto:** uma vez desenvolvida a ferramenta, tem-se um processo padrão de predição de receitas, o qual refletirá o grau de qualidade contínuo exigido pela empresa no desenvolvimento de cores na estamperia têxtil. Deste modo, uma das premissas em qualquer cadeia produtiva, a satisfação do consumidor, pode ser facilmente atendida.
- **competitividade:** a maior justificativa do trabalho. Com uma qualidade superior sem acarretar um custo adicional, o poder de infiltração nos mais variados mercados se torna muito mais fácil.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho compreende, além do presente capítulo, outros quatro capítulos. Todos voltados ao tema “Predição de Receitas de Cores na Estamperia Têxtil através de Redes Neurais com Função de Base Radial”. A estrutura é composta da seguinte forma:

- O Capítulo 2 - A Cor e a Estamparia Têxtil - descreve os principais conceitos a respeito da Ciência da Cor e da Estamparia Têxtil, apontando algumas características interessantes a cerca do trabalho. Visto a vastidão tecnológica existente nos processos têxteis, este capítulo se reporta em muito ao ambiente encontrado durante o trabalho prático.
- O Capítulo 3 - Redes Neurais com Função de Base Radial - este capítulo é reservado ao estudo da técnica de Inteligência Artificial empregada na resolução do problema, as Redes Neurais, assim como o modelo empregado, a RBF.
- O Capítulo 4 - A Aplicação - neste capítulo são abordados os esforços realizados na elaboração prática do trabalho, demonstrando suas limitações e resultados alcançados.
- O Capítulo 5 - Conclusões e Recomendações - neste capítulo são mencionadas as conclusões deste trabalho, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, encerrando o trabalho, é anexado um artigo elaborado ao longo do trabalho de pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, o qual foi aprovado e apresentado no *1998 IEEE World Congress on Computer Intelligence*, seguido pelas Referências Bibliográficas.

2 A COR E A ESTAMPARIA TÊXTIL

*“...Se um pinguinho de tinta cai
num pedacinho azul do papel;
Num instante imagino uma
linda gaivota voar no céu...”*

Vinicius de Moraes

A cor sempre foi objeto de fascínio do homem nos mais variados campos da Ciência. Estuda-se cor nas Artes, na Psicologia, na Antropologia, na Medicina, entre outras, (Lammens, 1994).

O homem sempre tentou transmitir a cor às coisas que o cercam. Gravuras em cavernas, vestimentas, *outdoors*, são exemplos da fascinação que se tem em relação a cor ao longo da história.

Luo (1992) menciona a grande importância do estudo da cor nos dias atuais. O autor se reporta a afirmação que atualmente em algumas empresas é estimada uma despesa extra na ordem 30% devido a necessidade de reprodução fiel de cores desejadas. Na indústria têxtil este quadro não é muito diferente. Dá-se muita importância à aquisição de padrões de cores desejados. Isto se deve, principalmente, porque as cores em um artigo manufaturado são, por muitas vezes, o primeiro fator que estimula o interesse do consumidor. Por isso a importância deste capítulo, onde se aborda os aspectos relevantes da cor na estamparia têxtil.

2.1 A COR

Pode-se definir cor como: *“Aparência dos corpos segundo o modo pelo qual refletem ou absorvem a luz. Impressão particular que causam no sentido da vista os diferentes raios luminosos, simples ou combinados, quando refletidos pelo corpo”*, (Zollinger, 1996).

Segundo Pedrosa (1989), a percepção da cor é característica apenas de alguns animais como aves, peixes, répteis e insetos. Ele menciona ainda, que dentre os mamíferos, é quase certa a exclusividade dos primatas à sensibilidade cromática.

O processo de percepção visual da cor se resume em alguns passos básicos. Numa visão mais ampla, uma determinada luz incide sobre um corpo. Este tem a característica física de absorver ou refletir tal luz, de forma total ou parcial, resultando em uma sensação multicolorida no órgão visual, (Billmeyer & Saltzman, 1981). Este processo é ilustrado na Figura 2.1.

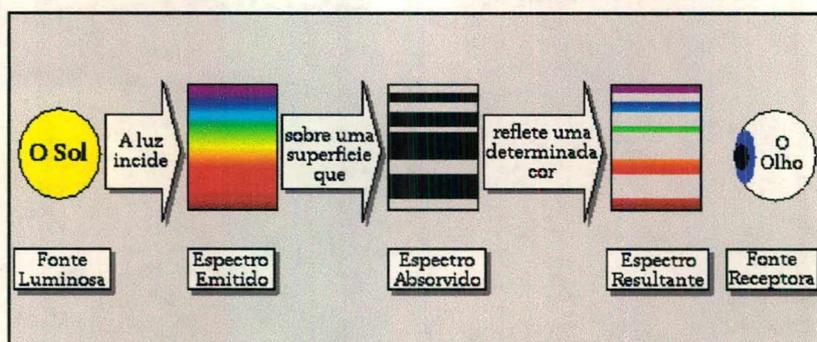


Figura 2.1: Princípio do processo de visualização da cor.

Portanto, a sensação cor só existe com a presença de três fatores:

- a fonte luminosa;
- o objeto observado; e
- o observador.

Salienta-se que alternando qualquer um destes fatores, a sensação cor também sofre uma alteração. Em virtude disto, uma atenção mais profunda é dada a estes três fatores.

2.1.1 A FONTE LUMINOSA

Uma fonte luminosa é caracterizada como um corpo que tem a capacidade de transmitir luz. O Sol, lâmpadas incandescentes e o fogo são exemplos de fontes luminosas. A luz transmitida por estes corpos é uma mistura de diversos comprimentos

de onda, sendo que cada um destes comprimentos isolado é interpretado como uma cor distinta, (Zollinger, 1996).

Fisicamente, quando a luz atinge um corpo, a sensibilidade humana em relação a cor se limita a uma parte visível do espectro, ilustrado na Figura 2.2, com comprimentos de onda variando entre 380 a 750 nm (nanômetros), (Billmeyer & Saltzman, 1981).

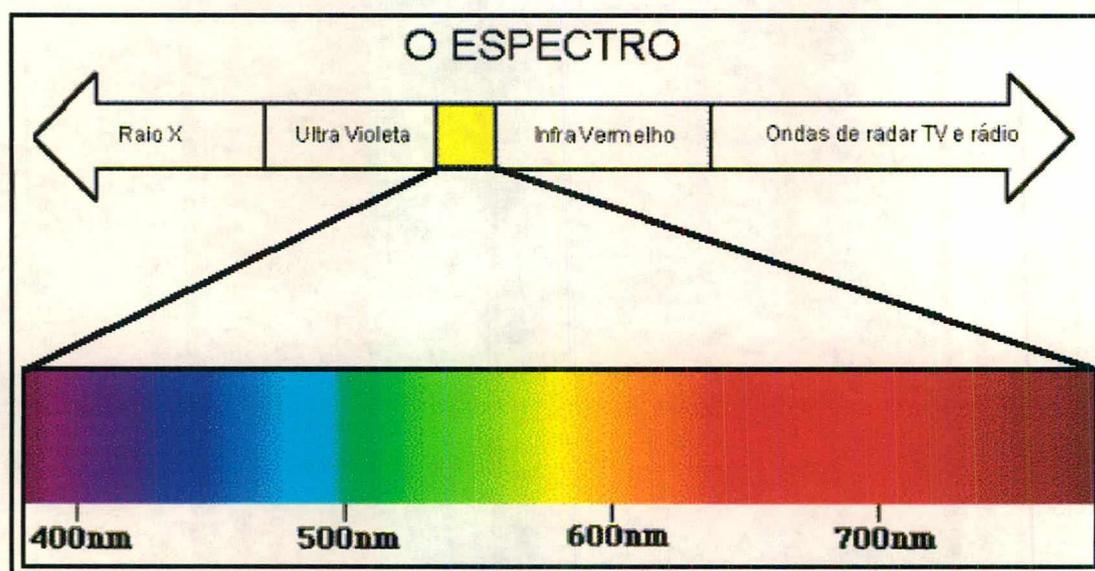


Figura 2.2: Organização do espectro visível, (Zollinger, 1996).

2.1.2 O OBJETO OBSERVADO

Enquadram-se neste conjunto todos os objetos visíveis e presentes no mundo real.

Na física, quando a luz atinge um determinado objeto, podem ocorrer um ou mais fenômenos ligados às características do objeto em relação à cor, (Zollinger, 1996).

Estes são:

- **transmissão:** a luz atravessa o material praticamente sem alteração. Quando este fenômeno ocorre, caracteriza-se o material como transparente;
- **absorção:** a luz pode ser absorvida ou perdida como luz visível. Quando uma determinada quantidade de luz for absorvida pelo objeto, o mesmo aparece como colorido; e

- **remissão:** a luz que atinge o objeto é parcialmente absorvida e refletida. Nesse caso, descreve-se o objeto como opaco.

É quando ocorre a remissão e ou a absorção que se encontra a origem do problema de predição de receitas de cores. São esses fenômenos que permitem ao ser humano a sensação cor. Segundo Wajchenberg (1977), um corpo pode assumir três estados possíveis em relação a cor que lhe é atribuída:

- quando absorvem toda a luz, serão negros;
- quando refletem toda a luz, serão brancos; e
- quando absorvem parcialmente a luz, serão coloridos.

2.1.3 O OLHO DO OBSERVADOR

Neste ponto lida-se com um dos sentidos mais importantes para o homem, a visão. Segundo Kovacs (1997), o sistema visual é o mais complexo dos sentidos, o mais estudado e o menos entendido. Ele estima que cerca de 5 bilhões de neurônios no Sistema Nervoso Central estejam diretamente envolvidos no processamento da informação visual.

Para perceber uma cor, é no olho humano que a luz refletida pelo objeto é convertida em sinais nervosos pelos centros de estímulos sensíveis à luz. Estes centros de estímulos são chamados de cones.

Segundo estudos existem três tipos cones. Localizados na retina, os cones são estimulados diferentemente para as três cores que compõe o espectro: o vermelho, o verde e azul, (Araújo & Castro, 1984). São esses estímulos que provocam a sensação multicolorida quando transmitidos ao cérebro, (Zollinger, 1996).

Em cada indivíduo, os cones apresentam diferentes sensibilidades para uma mesma cor, (Costa, 1995). Com isso, pode-se afirmar que a sensação cor muda de indivíduo para indivíduo. Um exemplo interessante desta constatação pode ser lido no romance de Gaarder (1995), O Mundo de Sofia. O autor, em trechos do livro, escreve: “... *Mas as propriedades secundárias, como cor e gosto, por exemplo, podem*

variar de animal para animal, de homem para homem, dependendo de como são constituídos os órgãos de sentidos de cada indivíduo... Pode ser que determinado tom de vermelho não agrade você. Se Jorunn compra um vestido exatamente desse tom, é melhor você guardar para si a sua opinião sobre ele. Não que o vestido seja feio ou bonito; é que vocês duas percebem de forma diferente este mesmo tom de vermelho”.

Os exemplos demonstram que ao se visualizar uma cor está se lidando com critérios qualitativos, caracterizando assim um grau de subjetividade inerente ao indivíduo. Sem dúvida, isso mostra a dificuldade do colorista têxtil em seu trabalho, o qual pode se confrontar com opiniões divergentes em relação aos demais indivíduos.

Como já mencionado a cor passou a ter suma importância na vida do homem. Reproduzir cores fiéis para serem aplicadas sobre os mais variados produtos é uma tarefa das mais delicadas, considerada por muitos como um dos problemas mais complexos a serem resolvidos. A seguir descreve-se, com mais ênfase, a concepção do problema de reprodução de cores no contexto de uma estamparia têxtil.

2.2 A COR NA ESTAMPARIA TÊXTIL

O principal objetivo da estamparia têxtil é colorir um determinado tipo de tecido de acordo com amostras de cores. Isto é conseguido pela aplicação de tintas que agem absorvendo seletivamente todas as cores do espectro visível menos a cor desejada, (Wajchenberg, 1997).

Segundo Araújo & Castro (1984), estampar é uma das mais exigentes técnicas têxteis e também a que mais se aproxima da arte. A obtenção de desenhos coloridos em tecidos já data de antes de Cristo. Naquela época, os corantes eram obtidos de folhas de árvores esmagadas. Para se dar cor ao tecido, os corantes eram diluídos em água, resultando em uma tinta que servia para pintar.

Nos dias de hoje, com tantos avanços em diversas áreas da engenharia, os métodos de estampagem mudaram, passaram a ser encarados em escalas muito maiores. Porém, estampar ainda pode ser considerado uma arte.

Atualmente, para se estampar um tecido, deve-se efetuar os seguintes processos, (Araújo & Castro, 1984):

- tratamento prévio do tecido;
- preparação das pastas ou tintas para estampar;
- transferência da cor de um intermediário para o artigo têxtil;
- secagem;
- fixação; e
- tratamentos posteriores.

O contexto do problema de especificação de receitas de cores está diretamente ligado ao processo de preparação de pastas ou tintas para estampar. Este processo é melhor detalhado a seguir.

2.2.1 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE CORES

A preparação de tintas para estamperia, tecnicamente denominadas pastas de estampar, requer conhecimentos técnicos no campo de química têxtil, (Ribeiro, 1987). Neste processo, o elemento principal da pasta são, evidentemente, os corantes. Corantes são substâncias capazes de se fixarem à superfície dos corpos, absorvendo determinados comprimentos de onda visíveis e emitindo os restantes, (Wajchenberg, 1977).

Manusear adequadamente os corantes na predição de receitas não é uma tarefa fácil. O colorista, profissional diretamente ligado ao processo, se apoia em seu conhecimento para predizer que corantes e, subsequente, o quanto de cada um destes deve ser empregado na pasta, (Ribeiro, 1987). O trabalho de um colorista também pode ser muito bem exemplificado em trechos do romance de Gaarder (1995): *“...Se ele tiver à sua disposição apenas uma cor - o vermelho, por exemplo -, não poderá pintar as árvores de verde. Mas se ele tiver amarelo, vermelho, azul e preto, então poderá criar centenas de cores diferentes, porque poderá combinar as cores em diferentes proporções...”* .

Neste contexto a figura humana se mostra altamente necessária pela utilização de sua intuitividade e julgamento a respeito da cor; e do manuseio correto dos corantes. Contudo, deve-se ater ao fato de que a cor é uma sensação ligada a um dos cinco sentidos. Sabe-se que os sentidos são, por muitas vezes, afetados por questões psicofísicas inerentes ao ser humano como idade, fadiga, defeitos visuais, entre outros, (Farina, 1990). Isto, sem dúvida, atesta a complexidade da tarefa, demonstrando a dificuldade do colorista em seu trabalho ao longo do tempo.

2.2.2 O ESTADO DA ARTE NA PREDIÇÃO DE RECEITAS DE CORES

Com avanços em diversos campos tecnológicos, o colorista já dispõe de tecnologia para auxiliá-lo no seu dia-a-dia. Randall (1995) menciona a possibilidade de integração de instrumentos voltados ao tratamento da cor com sistemas CAD (*Computer-Aided Design*) utilizados na estamparia têxtil. Ele menciona que alguns sistemas utilizam, por exemplo, uma interface com espectrofotômetros¹ para coletar e arquivar dados.

Neste sentido, Lucido (1994) também cita a possibilidade de fazer uso de equipamentos da Colorimetria² interligados a um computador para predizer receitas de cores nos diversos campos produtivos. Segundo Billmeyer & Saltzman (1981), este tipo de aplicação tem se tornado uma das mais importantes aplicações da indústria de Colorimetria.

A maioria dos sistemas de predição computadorizada de cores, até então desenvolvidos, empregam a teoria Kubelka-Munk. Esta teoria, criada em 1931 por Paul Kubelka e Franz Munk, baseia-se em equações matemáticas que regem a transferência radioativa da cor, (Bishop & Bushnell, 1991).

Existe uma grande popularidade deste modelo devido a simplicidade de utilização de suas equações e razoável acurácia na predição. Porém, há situações onde

¹ Aparelho utilizado como interface para obtenção de dados espectrais das cores.

² Ciência voltada ao estudo da medição de cores.

esta teoria não é aplicada com êxito, como por exemplo, a predição de tonalidades de cores escuras ou combinações que utilizam corantes fluorescentes, (Gibson, 1992).

2.2.3 VARIÁVEIS DO PROCESSO PRODUTIVO

A aquisição das cores na estamparia têxtil é um problema onde uma modelagem matemática não se adequa muito bem. As variáveis a serem consideradas podem ser facilmente enumeradas, porém, seu controle em relação a cor é muito difícil. É possível identificar as seguintes variáveis como sendo capazes de exercer grande influência na cor em estamparia têxtil, (Almeida, 1995):

- **a pressão e a velocidade de estampagem:** a força resultante destas duas variáveis é responsável pela quantidade de migração da pasta para o tecido.
- **a abertura do intermediário:** variável ligada a facilidade de migração da pasta para o tecido. Caso a abertura seja pequena, é necessário exercer uma maior pressão para que a pasta consiga migrar para o tecido.
- **a forma da vareta de estampagem:** é o objeto que, através da pressão e velocidade empregada, exerce uma força a qual pressiona a pasta para que esta migre para o tecido. Caso a vareta esteja avariada, esta pode exercer forças diferenciadas ao longo de seu comprimento, resultando em diferentes tonalidades.
- **a tensão da tela:** esta variável influencia diretamente na abertura do intermediário. Caso a tela não esteja devidamente tensionada, isto poderá resultar na abertura parcial de determinados pontos de estampagem.
- **o substrato ou tecido:** características inerentes a esta variável, como por exemplo, acidez, o tipo de fibra do algodão, entre outros; podem influenciar no grau de absorção do tecido em relação à pasta.
- **a força colorística e a tonalidade dos pigmentos ou corantes:** são variáveis ligadas diretamente a questão da qualidade dos corantes. Estas variáveis, caso não devidamente tratadas, podem acarretar em dificuldades na reprodução de cores ao longo do tempo.

- **a influência das propriedades da pasta utilizada:** espessantes, dispersantes, álcali e água; substâncias que formam a pasta, quando combinados de forma não normalizada, podem alterar as características físicas da pasta, e conseqüentemente, o seu poder de migração para o tecido.
- **os processos posteriores de acabamento do tecido:** os processos de secagem, vaporização, lavagem, alvejamento; realizados após a estampagem do tecido, utilizam diversos produtos e métodos que agem sobre a fibra do algodão. Deste modo, as características de ligamento do corante ao tecido também podem sofrer alterações, resultando em perdas de intensidade colorística ao longo de um processo global.

2.2.4 CUIDADOS NO PROCESSO DE AUTOMATIZAÇÃO

A predição de receitas de cores na indústria têxtil, como já mencionado, ainda está diretamente ligada ao julgamento humano. Na indústria têxtil são várias as variáveis que interferem na consistência da cor. Isto, sem dúvida, se tornam pontos que dificultam qualquer tentativa de aperfeiçoamento do processo, pondo, muitas vezes, a teoria por água a baixo.

Porém, não se pode ficar a mercê da inconstância humana ou de ferramentas que não supram adequadamente o *gap* entre a teoria e a prática. Com a visão que se tem do problema, sabe-se que se está muito aquém de uma solução que descarte a presença e o julgamento humano; e que se consiga mapear perfeitamente todas as variáveis intrínsecas do processo. Mas com o surgimento de equipamentos voltados ao controle da cor, pode-se melhorar em muito o processo. Assim, é possível fornecer ao profissional envolvido uma ferramenta que diminua a distância do seu julgamento com o ótimo esperado, ou seja, a cor desejada.

Com esse intuito, muitas empresas investem na aquisição de um espectrofotômetro, ilustrado na Figura 2.3, e de um sistema de predição computadorizada de receitas pensando que com o uso desses instrumentos suas dificuldades no desenvolvimento das receitas de cores serão eliminadas. No entanto,

não dispondo de uma série de pré-requisitos, a empresa pode vir a se deparar com problemas ainda maiores após a implantação do sistema instrumental, (Almeida, 1995).



Figura 2.3: Exemplo de um espectrofotômetro.

Por isso, antes de mais nada, é preciso fazer um trabalho de base perante qualquer tentativa de automatização. Padronização dos corantes e composições a serem utilizados; modelagem de um ambiente propício com luz padrão, balanças propriamente adequadas; formação de uma equipe para julgamento das cores; são exemplos dos esforços a serem realizados para a normalização do ambiente e posterior automatização do processo. Uma vez feito um estudo preliminar do ambiente, adequando-o à automatização, a construção ou implantação de uma ferramenta computacional se torna muito mais fácil.

Almeida (1995) relata que a automatização da predição de receitas pode significar elevados investimentos e um trabalho de base extenso, porém, as vantagens trazidas são realmente significativas. Dentre os benefícios alcançados, pode-se citar:

- economias com matérias-primas;
- menor carga desses produtos nos efluentes das indústrias têxteis;
- qualidade superior das cores desenvolvidas; e
- redução do tempo de aprovação da maioria das receitas.

Contudo, ele também cita que o sucesso na predição computadorizada de receitas depende de alguns aspectos. Porém, estes aspectos são facilmente tangíveis pelas empresas que visem tal feito. O Quadro 2.1 cita tais aspectos, demonstrando a facilidade do tratamento destes.

| ASPECTO | SOLUÇÃO |
|--|--|
| o controle adequado das propriedades das matérias-primas | no ramo têxtil, a maioria das grandes empresas dispõe de um laboratório, o qual uma de suas tarefas é o controle de propriedades de matérias-primas envolvidas nas pastas de estampar. |
| a qualidade das amostras para a calibração do sistema. | a qualidade das amostras para a calibração do sistema deve ficar a cargo do setor envolvido no processo de automatização. Geralmente, tanto as amostras quanto as receitas devem ser certificadas pelos profissionais da área beneficiada. |
| a metodologia adotada na medição colorimétrica das amostras. | com a existência de um laboratório, certamente existe uma metodologia adotada na medição colorimétrica das amostras. Se não houver, esta deve ser previamente estabelecida. Neste sentido, sabe-se que tem grande influência o tipo de instrumento de medição adotado, assim como a sua própria calibração; abertura de medição e precisão. Salienta-se ainda que questões como a forma de apresentação das amostras e o número de pontos a serem considerados devem ser observados. |

Quadro 2.1: Aspectos relevantes na automatização do processo de predição de receitas de cores.

Com tudo o que foi mencionado até então, a tarefa de automatização do processo é realmente um trabalho árduo. Com o número de variáveis envolvidas, a simples aquisição de um sistema para predição de receitas não comportaria bons resultados. Pacotes prontos, os *softwares* de prateleira, por muitas vezes, não são uma boa alternativa. Um sistema para predição de receitas deveria ser ajustável ao ambiente onde será empregado, capaz de levar em consideração as particularidades da empresa envolvida no processo de automatização.

Neste sentido, segundo Tominaga (1993), uma boa alternativa seria a tecnologia de Redes Neurais, as quais tem o poder de aprender adaptativamente um mapeamento entre dois espaços de cores para o qual uma descrição matemática é difícil e armazenar o conhecimento na estrutura da rede. No caso da predição de receitas de cores, os dois

espaços de cores em questão poderiam ser a leitura de um espectrofotômetro em relação a cor e as cores alcançadas pela administração dos corantes. Já o conhecimento, este pode ser alcançado através de exemplos que relacionam estes dois espaços. Tais exemplos podem ser conseguidos através de um trabalho de base de padronização do processo.

O próximo capítulo é reservado ao estudo mais profundo da tecnologia de Redes Neurais, abordando com mais ênfase o modelo de Rede Neural com Função de Base Radial, modelo utilizado como parte integrante da solução aqui proposta.

2.3 RESUMO E CONCLUSÕES

Este capítulo divide-se em dois tópicos que são de extrema relevância ao entendimento do trabalho proposto. Estes são:

- **a cor:** neste tópico definiu-se o que vem a ser uma cor, seu processo perceptual, assim como as variáveis que interferem diretamente em sua percepção: a luz, o objeto observado e o observador.
- **a estamparia têxtil:** neste tópico procurou-se situar o conceito cor dentro da indústria têxtil, destacando a importância da aquisição de cores no processo de estampagem do tecido. São mencionados pontos técnicos e tecnológicos que interferem diretamente neste contexto, assim como o estado da arte em alternativas de solução.

Deste capítulo cabe ressaltar três pontos os quais podem engrandecer o trabalho realizado. Estes são:

- 1) A cor é uma percepção qualitativa diferentemente interpretada por cada indivíduo. Como a solução proposta baseia-se na coleta de exemplos de cores, os quais são julgados visualmente de forma empírica, o processo de aquisição de dados pode ser parcialmente prejudicado.
- 2) A consciência que os diversos processos posteriores estampagem do tecido, como por exemplo, a secagem, a fixação da cor e o alvejamento do tecido; podem se caracterizar como forças interferentes em um contexto geral.

- 3) A necessidade normalização de um ambiente propício perante qualquer tentativa de automatização do processo de predição de receitas de cores em uma estamperia têxtil. Isso, sem dúvida, é conseguido através de um trabalho de base tomando como fatores de padronização os corantes e composições, as interfaces ou aparelhos, iluminação, entre outros.

3 REDES NEURAIS COM FUNÇÃO DE BASE RADIAL

“A inteligência é uma espécie de paladar que nos dá a capacidade de saborear idéias”

Susan Sontag

A utilização de técnicas de Inteligência Artificial (IA) é cada vez mais frequente nas mais variadas áreas. Isto se deve ao fato de que suas técnicas, muitas vezes, oferecem melhores resultados a muitos problemas onde técnicas convencionais deixam a desejar.

Ao se fazer um estudo do estado da arte em IA, certamente se estudará a tecnologia de Redes Neurais Artificiais (RNAs). Também chamada de Redes Neurais, esta tecnologia tem uma história de mais ou menos cinco décadas, mas somente nos últimos anos foram desenvolvidas aplicações sólidas, (Demuth & Beale, 1994).

Na indústria têxtil já se tem notícia de aplicações baseadas em RNAs. Aplicações como a predição de receitas de cores na tinturaria, (Bishop & Bushnell, 1991), (Gibson, 1992), (Warren, 1993); a classificação da qualidade de produtos, (Sette, 1995); e o reconhecimento de defeitos em tecidos, (Rajasekaran, 1997), (I-Shou, 1995); mostram o potencial dessa tecnologia no ramo têxtil.

Atentando a esse potencial, vê-se uma grande possibilidade a aplicação de RNAs, em especial a RNA com Funções de Base Radial (RBF), na predição de receitas de cores na estamparia têxtil. Para tanto, este capítulo é destinado ao seu estudo.

3.1 RNAs

Ao estudar-se as diversas técnicas de IA, percebe-se que muitas delas têm inspirações em áreas distintas da Ciência. Assim é com os Algoritmos Genéticos, inspirados na Teoria Evolucionária, (Goldberg, 1989). Ou ainda, os Sistemas Especialistas, tecnologia resultante dos estudos no campo da Engenharia do Conhecimento, (Pereira, 1995).

As RNAs não são uma exceção. Estas são inspiradas em unidades microscópicas que coletivamente formam um dos órgãos mais intrigantes dos seres dotados de inteligência, o Cérebro. Por isso, para melhor entender os fundamentos desta tecnologia, a seguir é descrito o funcionamento básico dessas unidades microscópicas, os neurônios biológicos, e seu correspondente na tecnologia resultante, os neurônios artificiais.

3.1.1 O NEURÔNIO BIOLÓGICO E O NEURÔNIO ARTIFICIAL

Um neurônio biológico, caracterizado na Figura 3.1a, é composto por três partes: o corpo ou soma, as várias protuberâncias chamadas de dendritos e uma longa ramificação chamada de axiônio, (Kovacs, 1996). Seu processo funcional concentra-se, principalmente, na comunicação com outros neurônios. Esta comunicação se dá através dos dendritos com os outros neurônios nas regiões sinápticas. Neste processo, o neurônio recebe os impulsos que excitam os seus diversos dendritos. Sobre o total dos impulsos recebidos, os quais são ponderados, é aplicada uma função. O fator resultante desta função é propagado pelo axiônio. Este axiônio é novamente conectado a outros neurônios através de mais regiões sinápticas, propagando assim, o sinal adiante. Em um contexto geral, um neurônio recebe um conjunto de impulsos e envia um impulso de saída que é função resultante dos impulsos de entrada, (Ross, 1995).

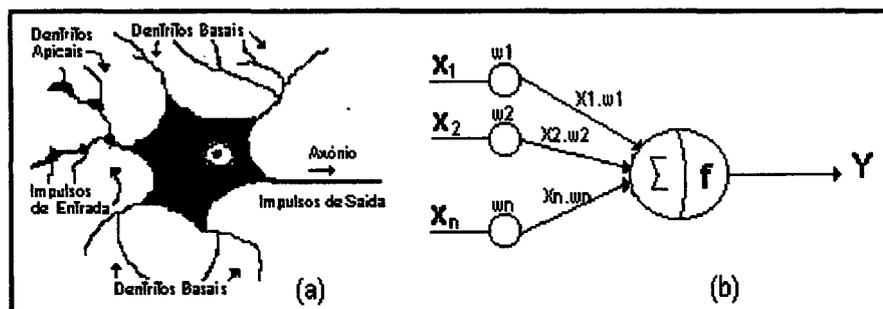


Figura 3.1: Ilustração do neurônio biológico e do neurônio artificial, (Starke, 1996)

Este conceito, de como os neurônios biológicos funcionam, é base funcional dos neurônios artificiais, caracterizados na Figura 3.1b. Analogicamente, em um neurônio artificial, a função dos dendritos é desempenhada pelo conjunto de conexões que ligam o neurônio ao conjunto anterior de neurônios também artificiais. Caso o neurônio seja considerado um neurônio de entrada, este é ligado ao meio externo, desempenhando o papel de entrada da RNA. O soma de um neurônio biológico é representado, em um neurônio artificial, pelo somatório ponderado das entradas e uma função de ativação. Já o sinal que se propaga pelo axônio é representado pelo valor resultante da função de ativação sobre o somatório. Estas diferenças são melhor traçadas no Quadro 3.1.

| Neurônio Biológico | Neurônio Artificial |
|--------------------|---|
| dendritos | conexões com a camada anterior |
| soma | somatório das entradas e função de ativação |
| sinal do axiônio | resultado da função de ativação |

Quadro 3.1: Comparativo entre o neurônio biológico e o neurônio artificial.

O funcionamento de um neurônio artificial segue os mesmos passos de um neurônio biológico. Cada neurônio recebe as entradas dos neurônios aos quais é ligado anteriormente. Estas entradas são ponderadas pelos valores presentes nas conexões e somadas. Uma função de ativação é computada sobre tal somatório. O valor resultante desta função é considerado como saída do neurônio, (Warren, 1993).

3.1.2 O QUE SÃO AS REDES NEURAIS

RNAs podem ser vistas como um aglomerado de neurônios artificiais. Segundo Fausset (1994), RNAs são modelos computacionais, implementados em *software* ou em *hardware*, que imitam o comportamento dos neurônios biológicos, utilizando-se de um grande número de elementos de processamento interconectados, os neurônios artificiais.

Necessariamente, este grande número de neurônios artificiais deve estar organizado segundo alguma ordem. A essa ordem se dá o nome de arquitetura, (Fausset, 1994). Uma arquitetura de RNA define, por exemplo:

- o número de camadas que constituem uma RNA;
- o número de neurônios em cada camada;
- a forma de conexão entre os vários neurônios;
- as funções de transferência utilizadas.

A Figura 3.2 mostra uma RNA com três camadas, sendo que os neurônios estão arranjados da seguinte forma: 4 neurônios na camada de entrada, 6 neurônios na camada intermediária e 1 neurônio na camada de saída. A forma de conexão é total, ou seja, todos os neurônios da camada anterior são conectados a todos os neurônios da camada posterior.

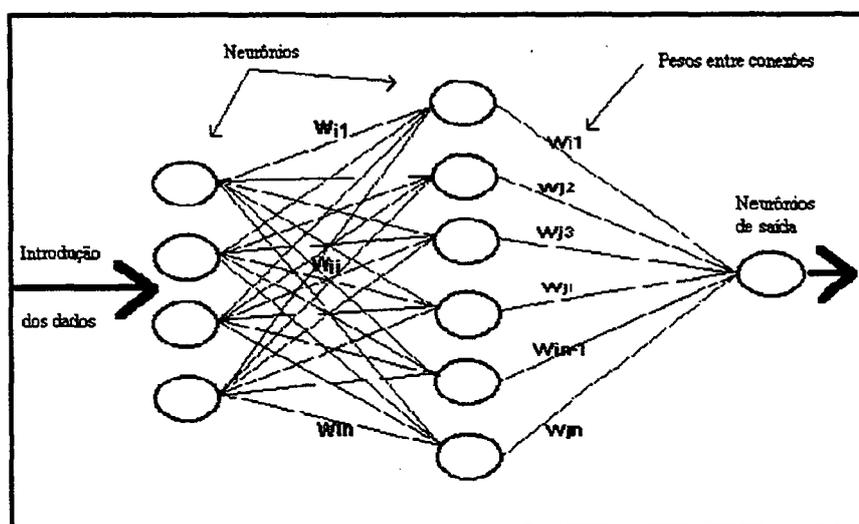


Figura 3.2: Exemplo de uma RNA.

Às RNAs são atribuídas algumas características interessantes. Dentre as principais estão:

- o poder de solucionar problemas é característica emergente da sua capacidade de adaptação aos dados que a alimentaram, (Ross, 1995);
- a facilidade em resolver problemas que são difíceis para a computação convencional ou profissionais principiantes, (Demuth & Beale, 1994);
- a tolerância à falhas. O conhecimento de uma RNA é internamente distribuído no conjunto de pesos das conexões entre os neurônios. Por isso, um neurônio falho, a princípio, não levará todas as operações internas a um colapso global, (Sette, 1995);
- o grande poder de generalização, ou seja, sempre que uma entrada ruidosa, incompleta ou desconhecida é apresentada à RNA, esta tem o poder de produzir uma resposta confiável, (Fausset, 1994).

Estas razões são, por muitas vezes, as justificativas para o uso de tal tecnologia. Contudo, pode-se perceber o crescente interesse na tecnologia de RNAs por outros motivos. O surgimento mensal de novos aplicativos e novos modelos de RNAs nas várias conferências e publicações dedicadas ao assunto é outra das razões que atesta o crescente interesse, (Harrison, 1998).

Ou ainda, pode-se citar como fonte de interesse a sua grande liberdade de aplicabilidade, (Berry & Linoff, 1997). Uma mesma RNA pode ser utilizada nos mais variados ambientes, com diferentes finalidades. Basta que para isso, ela passe por uma fase de adaptação. Mas para melhor compreender esta afirmação, deve-se conhecer o procedimento de implementação de uma RNA. Este procedimento é descrito a seguir.

3.1.3 FASES NA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA RNA

Implementar uma RNA pode ser encarado como um processo de alquimia medieval. Apesar das fases de implementação serem bem definidas na literatura, existe inúmeras variáveis e possibilidades a serem consideradas. Tudo se resume ao empirismo, ensaios, erros e acertos.

Nos tópicos a seguir são descritos os passos básicos presentes em qualquer tentativa de implementação de RNAs, salientando-se sempre os pontos que devem ser considerados.

3.1.3.1 A ESCOLHA DO MODELO DE RNA

Esta fase é o ponto inicial na implementação de qualquer RNA. Segundo Loesch (1996), na implementação de uma RNA, a escolha do modelo é resultado de considerações feitas a cerca de alguns fatores. Neste sentido, o grande número de modelos de RNA existentes, a natureza do problema e a existência de dados a cerca do problema são pontos decisivos.

Cada modelo de RNA tem suas propriedades, que por sua vez, as tornam adequadas à resolução de determinada classe de problemas. Isso é facilmente compreendido no Quadro 3.2, o qual apresenta alguns dos modelos de RNAs existentes, juntamente com suas principais aplicações, (Loesch, 1996).

| RNA | ANO | PRINCIPAIS APLICAÇÕES |
|--|-------------|--|
| <i>Adaline/Madaline</i> | (1960) | filtragem de sinal |
| <i>Adaptive Resonance Theory (ART)</i> | (1983) | reconhecimento de padrões e classificação |
| <i>Multi-Layer Perceptron (MLP)</i> | (1974-1986) | reconhecimento de padrões, controle, aproximação de funções e classificação. |
| Redes com Funções de Base Radial | (1987-1988) | reconhecimento de padrões, controle, aproximação de funções e classificação. |
| Hopfield | (1982) | Evocação autoassociativa e otimização |
| <i>Neocognitron</i> | (1975-1982) | Reconhecimento de padrões. |

Quadro 3.2: Exemplos de modelos de RNAs, (Loesch, 1996).

O presente trabalho é caracterizado em duas classes de problemas: a Classificação e a Aproximação de Funções. Esta caracterização foi um dos motivos que

levou a escolha do modelo RBF como parte integrante da solução proposta. Este modelo é melhor discutido no tópico 3.2.

3.1.3.2 REPRESENTAÇÃO DOS DADOS

Segundo Skapura (1996), nesta fase visa-se projetar uma representação de dados (entrada/saída) que permita a maximização do poder de resposta da RNA a qualquer característica que possa existir nos padrões de entrada. Em outras palavras, visa-se projetar uma representação de dados que permitirá a RNA produzir um correto padrão de saída em relação a um determinado padrão de entrada.

A importância desta fase está diretamente ligada ao desempenho do modelo de RNA selecionado. Esta afirmação pode ser facilmente entendida pelo fato de que uma RNA é sensível ao formato de dados que a alimentam, (Harrison, 1998). Diferentes representações dos mesmos dados podem produzir resultados diversos nas fases subsequentes. Os esforços realizados neste sentido, para o presente trabalho, são relatados nos tópicos 4.4.1 e 4.4.2.

3.1.3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Esta fase influencia diretamente no sucesso das fases posteriores na confecção de uma RNA. Aqui são definidas, por exemplo, características intrínsecas à arquitetura da RNA, à estratégia de treinamento, entre outras. Dentre tais parâmetros, pode-se destacar:

- o número de entradas da RNA;
- o número de saídas da RNA;
- o número de camadas intermediárias;
- o número de neurônios em cada camada;
- as funções de transferências utilizadas em cada camada;
- a(s) taxa(s) de aprendizado utilizadas durante o treinamento;
- o número de interações no treinamento; e

- a taxa de erro aceitável durante o treinamento e testes.

3.1.3.4 TREINAMENTO

Treinamento de uma RNA pode ser definido como o encontro de pesos adequados para todas as conexões dos neurônios entre as camadas, de modo que uma saída desejada seja gerada para uma entrada correspondente, (I-Shou, 1995).

Para Demuth & Beale (1994) uma RNA pode executar uma função particular por ajustar os valores das conexões entre os elementos. A este ajuste se dá o nome de treinamento.

São duas as formas de treinamento mais difundidas de uma RNA. Estas são:

- **Treinamento supervisionado:** durante esta forma de treinamento os exemplos são apresentados à RNA na camada de entrada e de saída. Os pesos das conexões são, então, ajustados de tal sorte que a entrada apresentada é associada à saída desejada, considerando um pequeno desvio, (Westland, 1994). Dentre as RNAs que utilizam esta forma de treinamento estão o *Perceptron*, a MLP e a RBF.
- **Treinamento não-supervisionado:** nesta forma de treinamento, os pesos das conexões são modificados na RNA somente com a apresentação dos padrões de entrada. Segundo Fausset (1994), em RNAs que utilizam esta forma de treinamento, os padrões de entrada são associados de forma automática a um *cluster* determinado pela própria RNA. Exemplos de RNAs que utilizam esta forma de treinamento estão o ART e o *Kohonen Self-Organizing Map*.

3.1.3.5 TESTES

Após a fase de treinamento, a RNA pode entrar no estágio de testes. Nesta fase exemplos não utilizados na fase anterior são apresentados à RNA com a finalidade de atestar o seu poder de generalização, (Westland, 1994).

Este processo é extremamente simples. As entradas são apresentadas à respectiva camada e através de simples computações, propagando o sinal em direção a camada de saída, as respostas são geradas. Estas respostas são, então, comparadas com seus respectivos alvos (repostas corretas) considerando-se um pequeno erro. Caso a RNA obtenha um bom desempenho, apresentando um erro aceitável, esta pode ser utilizada para executar a tarefa a qual se destina. Caso contrário, retorna-se a uma das fases anteriores para alterar os parâmetros da RNA ou a representação dos dados com a finalidade de melhorar a performance até então alcançada.

3.1.4 AS APLICAÇÕES DE RNAs

As aplicações que empregam RNAs, geralmente, podem ser agrupadas em aplicações de Reconhecimento de Padrões, de Classificação, de Controle e de Aproximação de Funções. A seguir, estes grupos serão melhor discutidos, exemplificando-os com alguns trabalhos encontrados na literatura.

3.1.4.1 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Reconhecimento de padrões pode ser definido como a tarefa de identificar valores ou conceitos que tenham sido estabelecidos para servir de modelos ou regras na medição de uma quantidade ou no estabelecimento de um procedimento, (Fragomeni, 1986).

Para Osório (1991) a tarefa de reconhecimento de padrões consiste em perceber ou identificar um elemento a partir de detalhes de um determinado padrão estabelecido anteriormente através de uma experiência passada ou de um conhecimento intrínseco.

Pode-se exemplificar facilmente sistemas que empregam os conceitos de reconhecimento de padrões e de RNAs. Dentre os trabalhos encontrados na literatura, pode-se citar:

- **Hugo (1995)**: aplicou uma RNA Kohonen com o intuito de comprovar a viabilidade e potencialidade deste modelo no reconhecimento de padrões. A

solução implementada na ocasião visava reconhecer um pequeno vocabulário de palavras faladas para manipular o menu de um Sistema Gerenciador de Central de Informação de Fretes.

- **Borges & Lima (1997)**: implementaram duas RNAs MLP em um sistema óptico com a função de reconhecer trajetórias para veículos autônomos. Os resultados foram considerados satisfatórios.
- **I-Shou (1995)**: utilizou uma RNA MLP em um sistema de reconhecimento de padrões na inspeção de defeitos em tecidos. Segundo o autor, a taxa de acerto nos testes superou os 96%.

3.1.4.2 CLASSIFICAÇÃO

Segundo Fausset (1994), problemas de classificação são definidos como a categoria de problemas onde padrões (entradas) são associados a uma ou várias classes (saídas). Ou seja, as saídas produzidas por uma determinada RNA são interpretadas como uma indicação que o padrão de entrada pertence a uma ou mais classes que compartilham atributos comuns, (Skapura, 1996).

Dentre exemplos de sistemas neurais para classificação, pode-se citar:

- **Sette (1995)**: utilizou uma RNA Kohonen para classificação de produtos têxteis em relação ao aspecto qualidade. Cerca de 90% das classificações realizadas durante os testes foram consideradas aceitáveis, demonstrando o potencial da implementação.
- **Loesch (1996)**: implementou um sistema híbrido para a detecção e diagnóstico de irregularidades na fiação têxtil. O sistema era baseado em uma RNA para a classificação e detecção das irregularidades e um Sistema Especialista para as fases posteriores de interpretação e de diagnóstico. O autor ressalva o sucesso animador da solução neural e que o desempenho do Sistema Especialista poderia ser melhorado com o incremento da base de conhecimentos.

3.1.4.3 CONTROLE

Segundo Kovacs (1996), problemas de controle constituem uma das áreas que permitem uma aplicação eficiente das técnicas de RNAs. Porém, o autor divide esta classe de problema em duas categorias:

- **controle dinâmico:** caracterizados por problemas que envolvem sempre o controle de uma planta cujas variáveis evoluem de acordo com um sistema de equações diferenciais especificadas pelas leis físicas que as governam. Exemplos comuns são o controle do nível em tanques de armazenamento ou de temperaturas.
- **controle de processos:** caracterizados por problemas onde a solução necessita realizar um controle de temporização, seqüencialização e sincronização de eventos que ocorrem no desenrolar do processo. Dentre os exemplos estão a certificação de segurança ou confiabilidade e a correção de trajetórias.

Dentre alguns trabalhos realizados na área de controle com RNAs, pode-se citar:

- **Galvão (1997):** utilizou uma RNA para extrair de um conjunto de dados de treinamento a estratégia de controle desenvolvida empiricamente por um operador humano em tarefas de rastreamento.
- **Ferreira (1997):** aprimorou o processamento de um controlador difuso com uma RNA treinada previamente com a dinâmica inversa do sistema a ser controlado.
- **Neto & Goes (1997):** utilizaram RNAs MLP para controlar os movimentos de um robô (o ITA-IEMP). Os autores citam que com a utilização das RNAs observou-se a possibilidade de um relaxamento do formalismo matemático tradicional. Salientam, ainda, o desenvolvimento automático de um modelo matemático que proporcionou uma estabilidade e um desempenho tão bons, ou melhores, quanto a de um controle tradicional.

3.1.4.4 APROXIMAÇÃO DE FUNÇÕES

Problemas de aproximação de funções é uma classe de problema caracterizada pela existência de um conjunto de variáveis antecedentes (entradas) e um conjunto de variáveis conseqüentes (saídas) bem definidos, porém, o relacionamento (a função regente do sistema) entre os dois espaços é desconhecido, (Haykin, 1994). Tal conceito é expresso na Equação 3.1.

$$y = f(x)$$

onde

x - variáveis de entrada

y - variáveis de saída

f - função aproximada

(3.1)

O objetivo nesta classe de problema é conseguir encontrar uma função característica do relacionamento existente entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída.

São vários os exemplos de sistemas que empregam RNAs para aproximar funções. Dentre os exemplos encontrados na literatura, pode-se mencionar:

- **Cassa (1997)**: utilizou uma MLP para a previsão da resistência mecânica do concreto. Segundo os autores, os resultados obtidos demonstraram o potencial da tecnologia quanto a previsão de sistemas complexos, produzindo modelos com boa precisão.
- **Popov (1997)**: fez uso de uma RNA juntamente com um sistema difuso para a previsão de cargas elétricas. Dentre as características da solução, os autores destacam a possibilidade de reduzir a dimensionalidade do vetor de entrada; a utilização simultânea tanto de informações imprecisas, quanto conhecimento humano disponível; e uma melhora na precisão na predição das cargas diárias.
- **Bishop & Bushnell (1991)**: citam que um dos maiores problemas com a predição de receitas de cores em tinturaria é a impossibilidade da aplicação exata da teoria de cores em meio computacional. Assim, uma aproximação era necessária. Neste sentido, os autores implementaram uma MLP que,

segundo eles, demonstrou um bom desempenho, reforçando a idéia que as RNAs podem ser uma solução viável ao problema.

3.1.5 VANTAGENS DAS RNAs

Dentre as diversas vantagens da tecnologia de RNAs, pode-se citar:

- **aprendizagem por exemplos:** sem dúvida este fato é desejável quando a complexidade computacional do problema a ser resolvido é alta e ou não se conhece todas as variáveis envolvidas no problema, (Fausset, 1994), (Loesch, 1996);
- **independência do problema:** uma RNA, antes de ser treinada, não possui nenhum conhecimento sobre o problema que pretende resolver. Neste sentido, uma mesma RNA pode ser aplicada para resolver problemas distintos sem a modificação de sua estrutura, (Gibson, 1992), (Loesch, 1996);
- **flexibilidade:** caso uma RNA não esteja fornecendo os resultados desejados, a sua arquitetura pode ser modificada em busca de otimizações, (Loesch, 1996);
- **robustez:** às RNAs é atribuída a habilidade de lidar com dados ruidosos, incompletos ou desconhecidos sem entrar em colapso global, (Gibson, 1992).

3.1.6 DESVANTAGENS DAS RNAs

Como principais desvantagens, as RNAs apresentam:

- a dificuldade de um formalismo na especificação e na análise de modelos de RNA. Para se compreender os mecanismos fundamentais das RNAs, é necessário realizar simulações que, na maioria das vezes, são tarefas árduas, (Harrison, 1998), (Loesch, 1996);
- a sensibilidade ao formato de dados que são apresentados, (Harrison, 1998).

3.2 RNAs COM FUNÇÕES DE BASE RADIAL

Idealizadas por M. J. D. Powell, (Kartalopoulos, 1996), as RBFs são definidas na literatura como as RNAs que possuem funções de ativação radiais em suas camadas intermediárias.

Estas RNAs, primeiramente, foram desenvolvidas e aplicadas em problemas de Classificação e Aproximação de Funções, demonstrando resultados semelhantes aos existentes para uma MLP, (Bauchspiess, 1997). Deste modo, com os devidos aprimoramentos feitos, tornaram-se populares no meio científico como uma alternativa à tecnologia dominante.

Em sua forma mais simples, ilustrada na Figura 3.3, uma RBF é formada por três camadas, (Sergeev & Maholito, 1997). A primeira atua como a entrada. A segunda é caracterizada como uma camada de alta dimensão, a qual promove uma transformação não-linear do espaço dimensional de entrada através de funções de ativação radiais em suas unidades. E a terceira, a camada de saída, retorna a resposta da RNA, promovendo uma transformação linear do espaço dimensional da camada intermediária para o espaço dimensional de saída, (Pandya, 1995).

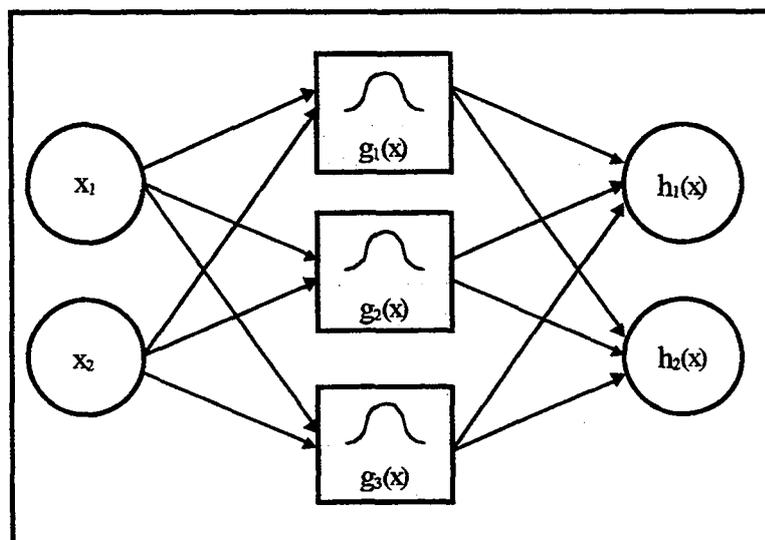


Figura 3.3: representação gráfica de uma RBF

A base funcional de uma RBF reside principalmente na transformação não-linear existente em sua camada intermediária. Por isso, não se pode deixar de notar as várias

alternativas válidas como funções desta camada, as quais podem influenciar diretamente no sucesso de uma RBF. Dentre os exemplos de funções de ativação estão a função gaussiana e a função multi-quadrática, matematicamente representadas na Equação 3.2 e na Equação 3.3, (Orr, 1996).

$$h(x) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{r^2}\right) \quad (3.2)$$

onde
 x - padrão de entrada
 c - centro da função
 r - raio da função

$$h(x) = \frac{\sqrt{r^2 + (x-c)^2}}{r} \quad (3.3)$$

onde
 x - padrão de entrada
 c - centro da função
 r - raio da função



Estas funções se diferenciam principalmente pelas características de suas respostas. Isso pode ser visto na Figura 3.4. Percebe-se em tal figura que a função gaussiana decresce monotonicamente, ou seja, quanto maior a distância do padrão de entrada em relação ao centro da função, menor é o poder de resposta da função. Já função multi-quadrática é monotonicamente crescente, ou seja, quanto maior a distância do padrão de entrada em relação ao centro, maior será a resposta da função. Cabe ressaltar que neste trabalho utilizou-se a função gaussiana.

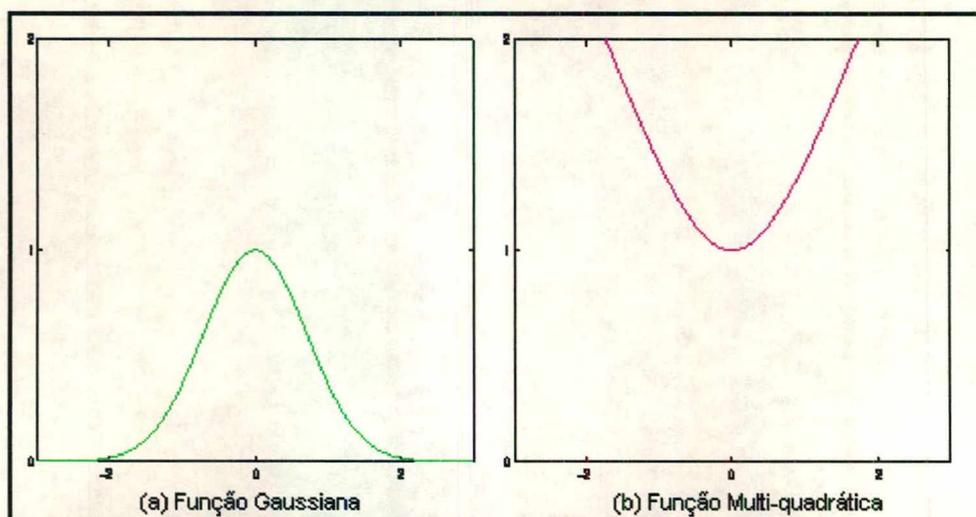


Figura 3.4 : Representação gráfica das funções gaussiana e multi-quadrática, (Orr, 1996).

Salienta-se que este poder de resposta das funções de ativação reflete o caráter local do processamento de uma RBF, (Bauchpiess, 1997). Em outras palavras, dada uma determinada entrada, esta é capaz de excitar somente um pequeno subconjunto dos neurônios na camada intermediária. Assim, durante o treinamento, pontos distantes da área de atuação da entrada (centros não excitados) não sofrerão ajustes em seus parâmetros. Este caráter local do treinamento faz com que novos aspectos do problema possam ser incorporados sem prejuízo do que já foi aprendido. Cabe ressaltar que esta característica local dificilmente é obtida em uma MLP.

Outro ponto significativo da RBF em relação ao modelo MLP é possibilidade de otimização da arquitetura da RNA. Cada elemento da camada intermediária da RBF pode ser encarado como uma aproximação de um elemento representativo da base de exemplos. Deste modo, não é difícil fazer uma análise sobre os dados existentes a fim de descobrir tais elementos. Segundo Bauchpiess (1997), este tipo de análise pode ser feito através de métodos estatísticos, de um mapeamento auto-organizável ou simplesmente de um espalhamento uniforme dos processadores sobre o espaço de entrada. Na solução proposta utilizou-se um mapeamento auto-organizável, a Aproximação Sucessiva, o qual é descrito no tópico a seguir.

3.2.1 O TREINAMENTO

Como já comentado, a implementação de uma RBF pode ser apoiada por diferentes técnicas, contornando assim um pouco do empirismo existente nas RNAs. Haykin (1994) faz algumas ressalvas quanto a isso, afirmando que o treinamento de uma RBF pode ser feito de diferentes formas. Segundo ele, esta diferença se dá, principalmente, no treinamento da camada intermediária. Dentre as estratégias de treinamento desta camada, pode-se citar:

- **Fixação dos centros através de uma seleção aleatória:** esta estratégia seleciona da base de treinamento, de forma aleatória, algumas observações e as fixa como centro das funções.
- **Seleção dos centros de forma auto-organizável:** esta estratégia de treinamento se caracteriza pela movimentação dos centros de forma auto-organizável. Aqui o número de centros pode ser fixo, variando-se os parâmetros da função utilizada; ou pode-se fixar os parâmetros da função, possibilitando uma alocação dinâmica dos centros;
- **Seleção supervisionada dos centros:** nesta estratégia os centros das funções, assim como outros parâmetros da RNA são modificados seguindo uma estratégia de treinamento totalmente supervisionada.

O treinamento desenvolvido para a RBF neste trabalho emprega um método auto-organizável para a camada intermediária, a Aproximação Sucessiva, (Tontini, 1995). O algoritmo de tal método é demonstrado no Quadro 3.3.

```

FUNÇÃO APROXIMAÇÃO SUCESSIVA(entrada, corte, raio);

Var
  centros = 0;
  neurônio, resposta;
inicio
  para cada entrada faça
    se centros = 0 então
      cria(neurônio);
      neurônio.pesos = entrada;
      neurônio.treinado = 1;
      centros = 1;
    senão
      para cada neurônio faça
        calcule a resposta gauss(entrada);
      fim para;
      se max(resposta) >= corte então
        incremente(neurônio.treinado);
        neurônio.pesos = neurônio.pesos + (neurônio.pesos - entrada/neurônio.treinado);
      senão
        cria(neurônio);
        neurônio.pesos = entrada;
        neurônio.treinado = 1;
        centros = centros + 1;
      fim se;
    fim se;
  fim para;
fim.

```

Quadro 3.3: Algoritmo de treinamento do método de aproximação sucessiva, (Tontini, 1995).

Neste algoritmo, os padrões de entrada são apresentados apenas uma vez. De acordo com a exigência atribuída (raio da base da função radial e um corte para treinamento do neurônio) a camada intermediária é alocada. A vantagem principal deste algoritmo é a não necessidade de definição do número de neurônios na camada intermediária. Já como desvantagem, este algoritmo apresenta o não conhecimento prévio dos seus parâmetros de exigência mais adequados.

A Figura 3.5 ilustra a aplicação do algoritmo de Aproximação Sucessiva em três padrões de entrada, demonstrando a liberdade de movimentação do centro formado. Como na primeira iteração do algoritmo não existem centros alocados, o primeiro padrão se torna o centro da primeira função. Nas apresentações dos padrões subsequentes é vista a excitação dos padrões de entrada em relação ao centro formado. Como em todos os casos a excitação, fornecida pela aplicação da função gaussiana,

ultrapassa o valor de corte, os parâmetros do centro são alterados, permitindo assim a assimilação dos padrões de entrada.

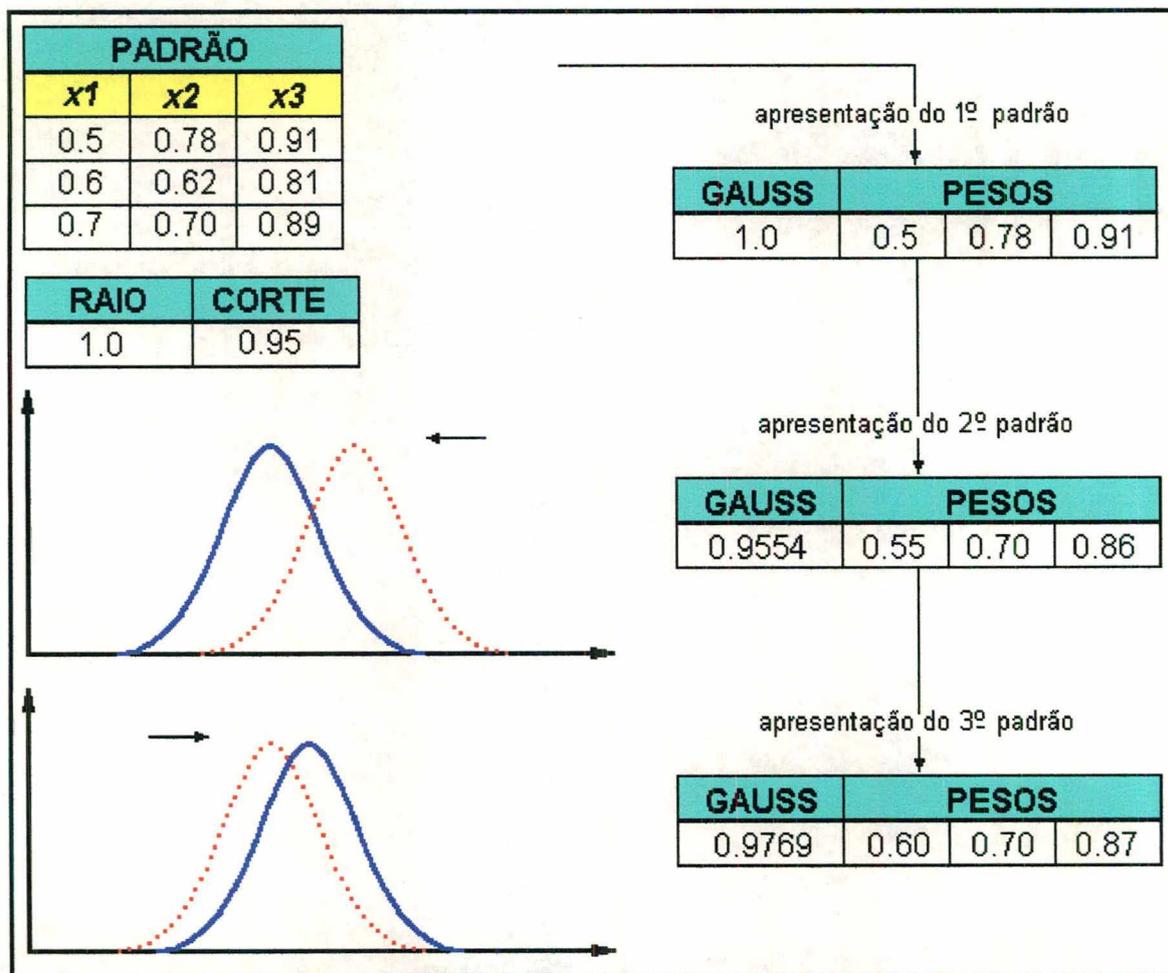


Figura 3.5: Exemplo de aplicação do método de Aproximação Sucessiva.

Após a especificação da camada intermediária, o treinamento entra em uma segunda fase, a qual encontra o relacionamento entre a camada intermediária e os alvos a serem atingidos. Segundo Tontini (1995), este relacionamento pode ser alcançado através da aplicação de um método linear como mínimos quadrados. Neste trabalho, utilizando-se das facilidades do ambiente de desenvolvimento, utilizou-se um método não iterativo para esta segunda fase, o cálculo da pseudo-inversa, expresso na Equação 3.4.

$$W = \left((S^t \times S)^{-1} \times S \right) \times t$$

onde (3.4)

S - excitação da camada intermediária

t - saídas desejadas

W - conjunto de pesos da camada de saída

Salienta-se que com a utilização do cálculo da pseudo-inversa diminuiu-se sensivelmente o tempo de treinamento. Desta forma, a desvantagem do algoritmo de Aproximação Sucessiva pôde ser compensada. Alterando-se os parâmetros de exigência do método, dentro de um certo intervalo, várias RNAs foram geradas e testadas. Este procedimento facilitou em muito a tarefa de escolha da topologia ideal.

3.2.2 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES COM RBFs

Segundo Tontini (1995), uma RBF pode ser utilizada para classificação, aproximação de funções, modelamento de sistemas, entre outros problemas. Devido a essa grande abrangência, não é difícil encontrar exemplos de soluções propostas aplicando este modelo de RNA. Pandya (1995) cita alguns exemplos de aplicações de RBF na classificação de padrões no domínio da fala, por Renals em 1989; no reconhecimento da escrita, por Lee em 1991; no processamento de imagens, por Poggio & Edelman em 1990 e Saha et al. em 1991; no diagnóstico médico, por Lowe & Webb em 1990; na análise de séries temporais, por He & Lapedes em 1991, Broomhead & Lowe em 1988 e Kadirkamanathan et al em 1991; e no reconhecimento da fala, por Ng & Lippman em 1991 e Niranja & Fallside em 1990.

Bauchpiess (1997) utilizou uma RBF para a identificação e o controle de sistemas posicionadores. Já Loesch e Adam (1997) utilizaram este modelo para o reconhecimento de objetos em imagens bidimensionais.

Tontini (1995) aplicou uma solução neural híbrida para identificação de padrões em gráficos de controle estatístico de processos. A solução unia a estabilidade de uma RBF e a plasticidade de uma Fuzzy-Artmap.

Todesco (1995) aplicou uma RBF para a classificação de cromossomos humanos. Em seu trabalho, o autor compara a eficácia de sua solução a estudos anteriores, salientando o sucesso de seus esforços.

Esta grande variedade de exemplos de aplicações mostram o potencial deste modelo. Sem dúvida, este fator pode ser considerado como uma grande influência na escolha da RBF neste trabalho.

3.2.3 POR QUE UTILIZAR A RBF NA SOLUÇÃO

São vários os motivos que levaram a escolha do modelo RBF como parte integrante da solução. Além das já mencionadas natureza do problema e sucessos anteriores, estão:

- **a rapidez no treinamento:** este fator facilita em muito a prototipagem da solução, tornando a análise dos resultados muito mais rentável;
- **a não aleatoriedade na definição dos pesos iniciais:** uma característica interessante, já que com a presença de uma aleatoriedade poderia resultar em um custo computacional maior;
- **a facilidade de implementação:** a quantidade de parâmetros inerentes ao modelo são de uma grandeza menor em relação a outros modelos de RNA;
- **a facilidade de compreensão de seu funcionamento:** o algoritmo de uma RBF é extremamente simples, de fácil implementação e entendimento;
- **possibilidade de interpretar sua estrutura:** com um processamento localizado dos centros de estímulo, vê-se com bons olhos a formalização de uma interpretação simbólica de sua estrutura.

O próximo capítulo é reservado a um relato mais específico a cerca da tecnologia empregada ao tratamento do problema proposto.

3.3 RESUMO E CONCLUSÕES

Este capítulo divide-se em dois tópicos que vem de encontro ao entendimento do diferencial tecnológico empreendido neste trabalho. Estes são:

- **as RNAs:** neste tópico abordou-se, de forma geral, o que vem a ser uma RNA, suas características quanto a implementação, campos de utilização, vantagens e desvantagens.
- **a RBF:** neste tópico abordou-se mais precisamente o modelo de RNA utilizado no trabalho, a RBF, traçando seu diferencial em relação ao modelo MLP. São mencionados ainda, o algoritmo de treinamento utilizado, exemplos de aplicação de RBF, assim como as justificativas para a utilização deste modelo no trabalho proposto.

Deste capítulo cabe ressaltar dois pontos os quais vem ao encontro da solução proposta neste trabalho. Estes são:

- 1) A capacidade de uma RNA adaptar-se ao problema pela formação de um mapeamento entre entradas e saídas desejadas. Esta é uma característica interessante da tecnologia em relação ao problema de predição de receitas de cores por dois motivos:
 - são muitos os processos intermediários entre a estampagem e a confecção final do produto que podem influenciar no aspecto cor. RNAs podem, de forma automática, tratar tais variáveis através deste mapeamento;
 - coletar os dados necessários para a formação deste mapeamento pode ser feito paralelamente ao processo produtivo.
- 2) A facilidade de aplicação do modelo RBF ao problema em virtude das características do problema e da própria RNA.

Cabe ressaltar ainda, um trabalho experimental realizado com Conjuntos Difusos (CD), (Rautenberg, 1998). Tal trabalho, anexado em forma de artigo ao final desta dissertação, foi, em princípio, o alicerce principal no trabalho de pesquisa. Porém, em virtude da metodologia adotada durante o trabalho prático, a qual visava produzir uma amostragem de cores padrões com a finalidade de melhorar a comunicação interna da

empresa, viu-se com bons olhos o emprego de RNAs. Isso se deu porque tal amostragem seria uma base de exemplos bastante confiável do escopo do problema, podendo ser facilmente convertida aos dados necessários para treinamento e testes da RNA. Contudo, a utilização de CDs ainda se torna um atrativo com a finalidade de aprimorar a solução proposta, transpondo a dificuldade de interpretação lingüística do resultado fornecido pela RNA.

4 A APLICAÇÃO

“Em filosofia, deve perguntar-se sempre: Como é que devemos olhar para este problema de modo a tornar possível a sua solução”.

Ludwig Wittgenstein

Uma das coisas mais gratificantes nos trabalhos de pesquisa é, sem dúvida, o alcance de novos conhecimentos. E quando isso é unido à prática, ao homem é reservado um sentimento de auto-realização que, por muitas vezes, é inexplicável.

Este capítulo é reservado ao relato da experiência prática do trabalho proposto. Aqui, aborda-se uma solução ao problema de predição de receitas de cores na estamparia têxtil através da tecnologia de RBF. Descreve-se neste capítulo as características, limitações, resultados da solução proposta, assim como os esforços realizados para a confecção da mesma.

4.1 INTRODUÇÃO

Como já mencionado, a predição de receitas de cores é um dos problemas mais complexos na estamparia têxtil. Coloristas são postos a prova diariamente mediante seu julgamento em relação a uma determinada cor.

Em seu trabalho, o colorista elabora cores através da administração correta dos corantes. Esta função se dá através de duas tarefas:

- a escolha dos corantes apropriados para composição da receita; e
- a especificação da quantidade de cada corante na cor.

São estas duas tarefas a base para implementação da solução proposta. Primeiramente, uma RBF classifica quais são os corantes que fazem parte da receita. E, em um segundo passo, uma RBF ou um conjunto dessas define qual a quantidade de cada corante a ser empregado. Os esforços realizados na implementação computacional da solução são descritos detalhadamente no tópico 4.4. Salienta-se, entretanto, que os primeiros esforços para a confecção da solução começaram muito antes da coleta de dados para o sistema ou a real construção deste. Houve um trabalho preliminar de adequação do ambiente, o qual é considerado passo fundamental para qualquer tentativa de automatização do processo de predição de receitas de cores. Tais esforços são relatados a seguir, fazendo uma distinção entre o ambiente encontrado e a adequação do ambiente.

4.2 O AMBIENTE ENCONTRADO

O ambiente encontrado na indústria onde se desenvolveu a parte prática do trabalho, a princípio, foi considerado adequado.

Na estamparia em questão são utilizados dois tipos de corantes: o pigmento³ e o reativo⁴. Em relação à qualidade destes corantes, esta é atestada por um laboratório especializado. Neste laboratório são analisadas, através de testes físicos e químicos, propriedades como intensidade e tonalidade dos corantes, fixação ao tecido, durabilidade da cor, e assim por diante. Uma vez aprovado, o lote de corantes é destinado ao processo produtivo de estamparia, podendo ser utilizado na confecção de cores.

No processo produtivo da predição das receitas, as cores são desenvolvidas e atestadas de forma totalmente empírica, ou seja, visual. Em muitas das situações, são indivíduos que compõem uma equipe que desenvolvem as cores. Este desenvolvimento é feito através de comparações com pequenas bandeiras de cores. Ao se detectar alguma similaridade entre a bandeira e a cor desejada, o indivíduo age de forma

³ Pigmento: tipo de corante que se fixa somente à superfície do tecido.

⁴ Reativo: tipo de corante que se fixa ao tecido penetrando na fibra do algodão.

intuitiva sobre sua percepção visual alterando a receita de acordo com seu julgamento. Em um segundo passo, após o desenvolvimento das cores, o colorista responsabiliza-se pelo trabalho previamente desenvolvido e caso necessário, age de forma corretiva sobre as amostras de cores produzidas.

No quadro descrito, observou-se algumas incoerências. Na busca de padrões de cores, em algumas vezes, o substrato não é o substrato adequado, ou seja, o tecido que contém a amostra da cor não é o mesmo substrato a ser utilizado durante o processo de estampagem. Outro problema é o local onde as cores são julgadas. Este, por muitas vezes, não oferecia as mesmas condições de iluminação em relação ao local em que as cores eram previamente preditas.

Com estas observações constatou-se que este ambiente dificultava toda e qualquer tentativa de automatizar o processo, já que os três elementos principais (o observador, o objeto e a fonte luminosa) estavam em constante mudança.

Salienta-se ainda a existência de um sistema que objetiva solucionar o problema de predição de receitas. Porém, os resultados por ele produzidos não são muito precisos. Mesmo assim, tal sistema, por muitas vezes, serve como fonte de consulta, fornecendo um ponto de partida para o usuário quando da não existência de uma cor próxima. Cabe ressaltar, segundo relatos dos próprios usuários, que o sistema produz um erro médio em torno de 40% em suas predições. No Quadro 4.1 são exemplificadas algumas das predições feitas pelo sistema, comparando-as a receitas de cores realmente utilizadas no processo. São ilustradas 5 receitas, a partir do sistema pantone, tendo cada uma destas mencionada sua predição, em gramas de corantes.

| Pantone | Amarelo | Amarelo Ouro | Laranja | Magenta | Azul Turquesa | Azul Royal | Azul Marinho | Preto |
|---------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------------|-----------------|-------|
| 132 | 11,58 | 10,84 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,58 |
| | 14,00 | 21,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,70 |
| 185 | 0,00 | 0,00 | 10,32 | 7,78 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 15,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 293 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,00 | 52,87 | 0,00 | 0,00 |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,00 | 52,90 | 0,00 | 0,00 |
| 340 | 5,47 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 16,53 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 26,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5467 | 7,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,54 | 0,00 | 15,62 |
| | 17,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 24,00 | 0,00 | 39,00 |

Quadro 4.1: Comparativo de receitas de cores especificadas existente e receitas utilizadas.

Embora o sistema utilizado não gere bons resultados, pode-se observar que este tem seus méritos. Observa-se, por exemplo, que em suas predições o sistema tem uma ótima precisão em relação à composição da receita e que em predições com tonalidades azuis o sistema tem um ótimo desempenho (Pantone 293). Porém, existe uma insatisfação em relação ao seu desempenho global, o qual demonstra a necessidade e a importância de uma solução alternativa afim de transpor suas dificuldades.

Atento a todos estes detalhes, observou-se que uma simples implementação de uma nova ferramenta computacional para substituir a ferramenta existente não resultaria em uma boa solução. Deveria se fazer um trabalho preliminar de adequação do ambiente, tomando-se alguns cuidados afim de evitar as disfunções existentes. O trabalho realizado neste sentido é descrito a seguir.

4.3 A ADEQUAÇÃO DO AMBIENTE

Como a finalidade do trabalho proposto é auxiliar o colorista em seu trabalho e não substituí-lo, sua presença ainda se fazia necessária para a avaliação final da cor e possível inferência. Neste sentido, ao se realizar as avaliações de cores necessárias para a implementação do novo sistema, agiu-se de forma conjunta. Formou-se uma equipe com esse intuito. A forma adotada de atestar uma determinada cor foi o pleno consenso da equipe.

Uma vez determinada a estratégia de avaliação, teve-se que determinar qual tipo de corante deveria ser considerado na solução. Determinou-se, então, como ponto de estudo preliminar os corantes reativos.

Sabedores da influência dos diversos tipos de substratos no resultado final da cor, padronizou-se um tipo de tecido utilizado durante todo o processo de coleta de dados. Este tecido é o tecido aveludado, considerado próprio para a fabricação de toalhas de banho.

A nível técnico/tecnológico padronizou-se as configurações da máquina de estampar. Cuidados foram tomados em relação à abertura da gaze, velocidade de estampagem, pressão exercida sobre o substrato e a forma da vareta de estampagem. Padronizou-se também o local e iluminação para a avaliação das cores.

Com esses cuidados acreditou-se conseguir estabelecer um padrão para confecção e avaliação de cores. Entretanto, as disfunções dos processos posteriores de acabamento do tecido ainda poderiam contribuir prejudicialmente. Outra questão, o estado psico-físico da equipe, também poderia influenciar no julgamento da cor. Porém, estas ressalvas são encaradas como ruído no processo de coleta de dados.

4.4 A IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

O primeiro passo em direção a real implementação do sistema se deu na coleta de dados. Neste sentido, propôs-se fazer a simulação do sistema Pantone no tecido especificado. O sistema Pantone é formado por aproximadamente 1000 exemplos de cores bem diversificadas. Cabe ressaltar que este sistema é considerado um veículo de comunicação confiável entre profissionais envolvidos em trabalhos colorísticos.

As cores, primeiramente, eram desenvolvidas conforme o sistema existente, com a finalidade de mapear seu ótimo desempenho quanto à composição das receitas. Em um segundo passo, as cores produzidas eram submetidas a avaliações da equipe. Quando uma determinada cor era alcançada, esta era relacionada a três leituras espectrais, fornecidas por um espectrofotômetro. Na solução proposta, é utilizado um

espectrofotômetro X-rite 978, ilustrado na Figura 4.1. Salienta-se, porém, que durante esta fase algumas cores não foram alcançadas devido dificuldades encontradas durante a elaboração da receita (número expressivo de inferências realizadas sem êxito).

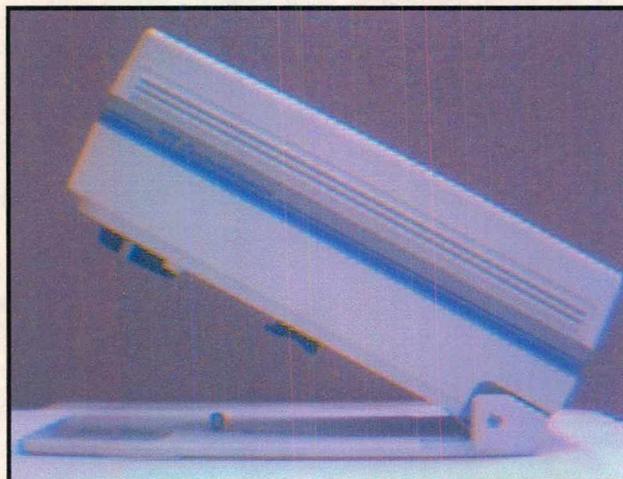


Figura 4.1 : Espectrofotômetro utilizado na solução proposta.

Dentre os dados colorísticos fornecidos pelo espectrofotômetro, está a representação da cor em escala Lab*⁵. Esta escala é representada graficamente na Figura 4.2.

⁵ Escala de representação de cores baseada em três eixos, onde:
L: representa o eixo preto/branco
a: representa o eixo vermelho/verde
b: representa o eixo amarelo/azul

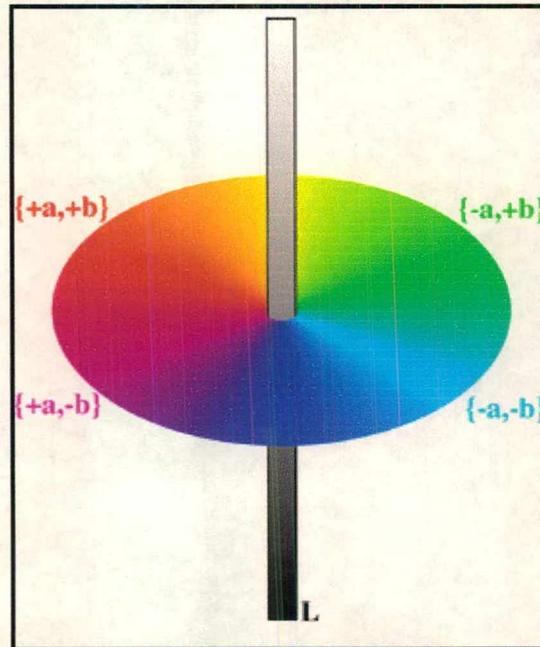


Figura 4.2: Representação gráfica da escala Lab* de cores

Os dados espectrais colhidos eram, ainda, convertidos para outras escalas de representação. Com isso, pôde-se ampliar a dimensionalidade da entrada das RNAs, incrementando assim, o escopo de possíveis arquiteturas de RNAs a serem implementadas e testadas. As escalas em questão são as escalas XYZ e xyz. Suas equações de conversão são apresentadas no Quadro 4.2, (Billmeyer & Saltzman, 1981).

| |
|---|
| $X = 94.83 \times \left(\frac{L+16}{116} + \frac{a}{500} \right)^3$ |
| $Y = 100 \times \left(\frac{L+16}{116} \right)^3$ |
| $Z = 107.38 \times \left(\frac{L+16}{116} - \frac{b}{200} \right)^3$ |
| $x = \frac{X}{(X+Y+Z)}$ |
| $y = \frac{Y}{(X+Y+Z)}$ |
| $z = \frac{Z}{(X+Y+Z)}$ |

Quadro 4.2 : Equações de conversão dos dados espectrais, (Billmeyer & Saltzman, 1981).

A nível tecnológico escolheu-se como parte integrante da solução o modelo RBF com a camada intermediária treinada pelo método de Aproximação Sucessiva.

Como no emprego do algoritmo de Aproximação Sucessiva a quantidade de *clusters* formados varia de acordo com a exigência (corte e o raio), definiu-se uma estratégia de implementação que facilitasse a otimização da arquitetura da RBF. Neste sentido, escolheu-se a melhor configuração de RNA dentro de um certo intervalo dos parâmetros de exigência. Foram geradas 56 RBFs, variando-se o corte no intervalo [0.90, 0.96], incrementando-o em 0.01. E em relação ao raio da função, este variou no intervalo [0.5, 1.2], incrementado em 0.1. Definiu-se também as regras para a escolha da melhor arquitetura. Seguiu-se os seguintes critérios:

- a) o menor erro encontrado durante a fase de testes;
- b) o menor erro encontrado durante a fase de treinamento; e
- c) o maior número de *clusters* formados.

Para a confecção e validação das RNAs, existiam 719 observações para treinamento e testes. Estas observações foram divididas em 606 e 113 amostras, respectivamente. Cabe ressaltar que o método de divisão é aleatório.

Em virtude do objeto de estudo deste trabalho ser dividido em dois problemas (escolha da composição da receita e definição da contribuição colorística de cada corante), cada qual de natureza diferente (classificação e aproximação, respectivamente), estes são divididos e melhor descritos nos tópicos a seguir.

4.4.1 A COMPOSIÇÃO DA RECEITA

O objetivo nesta fase da implementação é encontrar a melhor configuração de RNA que minimize o erro na escolha dos corantes que irão, ou não, fazer parte da receita.

Analisando os dados existentes, dois fatos interessantes foram observados. Estes são:

- são utilizados 8 corantes reativos na estamperia em questão, porém, nos dados colhidos observou-se a existência de combinações com apenas 7 dos 8 corantes; e
- são utilizadas somente 25 combinações diferentes das inúmeras combinações possíveis.

Estas observações, ilustradas no Quadro 4.3, foram a inspiração para a representação das saídas das RNAs implementadas.

| AMARELO | AMARELO OURO | LARANJA | MAGENTA | AZUL TURQUESA | AZUL ROYAL | AZUL MARINHO | PRETO |
|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------------|-----------------|-------|
| X | - | - | - | - | - | - | - |
| X | X | - | - | - | - | - | - |
| X | X | - | - | - | - | - | X |
| X | - | - | - | X | - | - | - |
| X | - | - | - | X | X | - | - |
| X | - | - | - | X | - | - | X |
| X | - | - | - | - | X | - | - |
| X | - | - | - | - | X | - | X |
| X | - | - | - | - | - | - | X |
| - | X | - | - | - | - | - | - |
| - | X | X | - | - | - | - | - |
| - | X | X | X | - | - | - | - |
| - | X | X | - | - | - | - | X |
| - | X | - | X | - | - | - | - |
| - | X | - | X | - | - | - | X |
| - | X | - | - | - | - | - | X |
| - | - | X | X | - | - | - | - |
| - | - | - | X | - | - | - | - |
| - | - | - | X | - | X | - | - |
| - | - | - | X | - | X | - | X |
| - | - | - | X | - | - | - | X |
| - | - | - | - | X | - | - | - |
| - | - | - | - | X | X | - | - |
| - | - | - | - | X | X | - | X |
| - | - | - | - | - | X | - | - |

Quadro 4.3: Composições de receitas utilizadas na estamperia.

Visto as muitas alternativas de arquiteturas de RNAs possíveis em função da modificação tanto do número de entradas, como o número de saídas, diferentes arquiteturas puderam ser testadas. O Quadro 4.4 demonstra os melhores resultados obtidos nas diferentes configurações testadas no transcorrer da estratégia de implementação, destacando a arquitetura de melhor desempenho.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro treinamento | Erro testes |
|---------------------|------------------|------|-------|---------|------------------|-------------|
| 27 (3*LabXYZxyz) | 25 | 0.90 | 0.96 | 194 | 8.91% | 29.20% |
| 9 (3*Lab) | 25 | 0.60 | 0.96 | 146 | 12.87% | 30.97% |
| 9 (LabXYZxyz) | 25 | 0.50 | 0.95 | 149 | 13.20% | 27.43% |
| 27 (3*LabXYZxyz) | 7 | 1.10 | 0.92 | 63 | 19.47% | 21.23% |
| 9 (3Lab) | 7 | 0.50 | 0.91 | 77 | 18.81% | 21.23% |
| 9 (LabXYZxyz) | 7 | 0.70 | 0.94 | 65 | 19.14% | 22.12% |

Quadro 4.4 : As melhores configurações de RNA para a composição.

Cabe ressaltar que uma determinada cor pode ser alcançada de diversas formas e através de diferentes composições. Durante o treinamento e testes é possível que uma determinada composição seja considerada errada, porém, esta pode ser uma alternativa válida para a composição. Sendo assim, não se pode afirmar com certeza que o erro atribuído à RNA no Quadro 4.4 é correto, mas é possível que esteja superestimado.

4.4.2 A ESPECIFICAÇÃO DA RECEITA

O objetivo nesta fase da implementação é encontrar a melhor configuração de RNA ou RNAs que faça a previsão das quantidades dos corantes presentes na composição da receita.

Aqui cabe fazer uma ressalva. Em virtude das inúmeras respostas válidas para a especificação de uma receita, uma penalização pontual, talvez não seja a melhor opção para servir de critério na seleção da melhor configuração. Tal ressalva pode ser facilmente visualizada na Figura 4.3, a qual exemplifica formas geométricas e não pontos isolados como respostas válidas no espaço de decisão do problema. Mesmo assim, uma medida pontual, a média do erro quadrático, foi utilizada como um fator que certifique a generalização da RNA. O erro em questão é dado pela Equação 4.1.

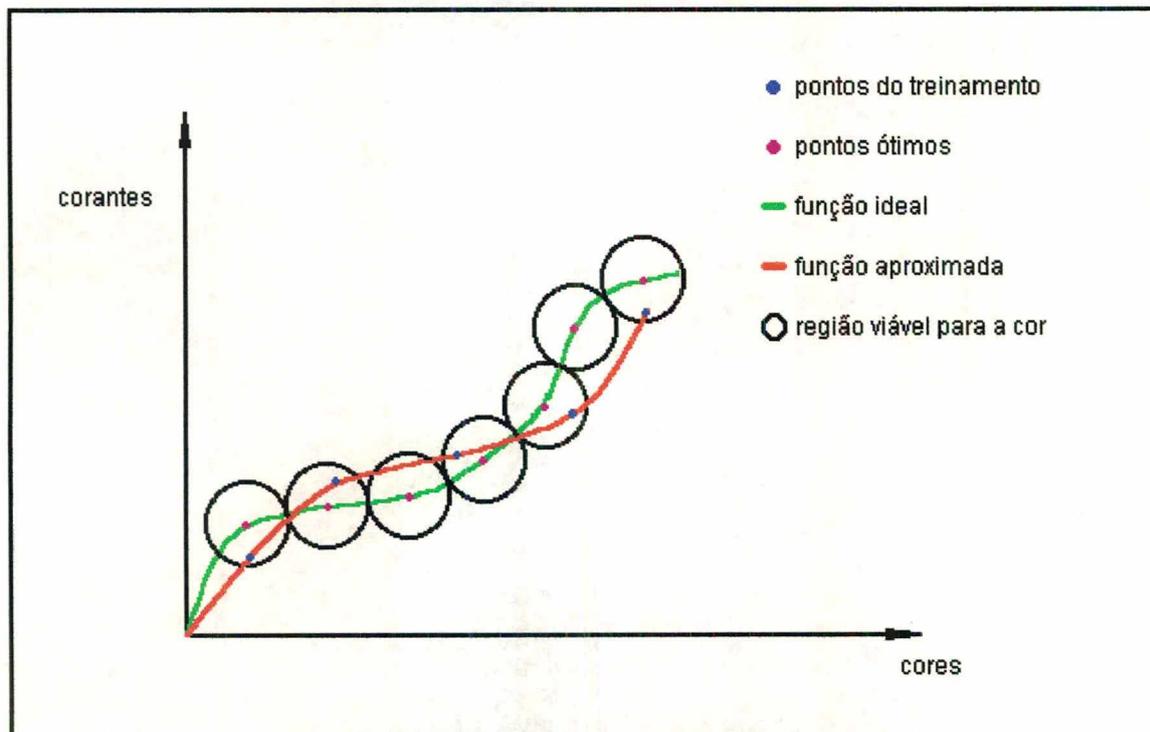


Figura 4.3 : Comportamento do sistema.

$$\Delta_e = \frac{\sum_i \sum_j (y_{ij} - t_{ij})^2}{(i \times j)}$$

onde

- i - número de amostras
- j - número de neurônios de saída
- y - saída da RNA
- t - saída desejada

(4.1)

Na implementação da solução destinada a especificação das receitas de cores várias configurações de RNAs foram implementadas, alterando-se o número de entradas ou a representação da saída. Nos tópicos a seguir são descritos os esforços realizados neste sentido.

4.4.2.1 PREDIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO E DE PROPORÇÃO

Para a predição de concentração e de proporção, a solução proposta é composta de duas RNAs. A primeira RNA destina-se a concentração, ou quantidade total de corante que será necessária para a produção de um quilograma de tinta. Já a segunda RNA, destina-se a proporção de utilização dos corantes que compõem a receita.

O quadro 4.5 mostra os melhores resultados alcançados durante a aplicação da estratégia de implementação para a predição da proporção de utilização dos corantes, destacando a opção de RNA utilizada na solução proposta.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro treinamento | Erro testes |
|---------------------------|------------------|------|-------|---------|------------------|-------------|
| 27(3LabXYZxyz) | 7 | 0.50 | 0.90 | 234 | 0.0036 | 0.0079 |
| 9 (3Lab) | 7 | 0.50 | 0.95 | 149 | 0.0049 | 0.0083 |
| 9(LabXYZxyz) | 7 | 0.50 | 0.95 | 164 | 0.0043 | 0.0081 |
| 34(3LabXYZxyz+composição) | 7 | 1.00 | 0.96 | 256 | 0.0010 | 0.0032 |
| 16(3Lab+composição) | 7 | 0.80 | 0.96 | 137 | 0.0018 | 0.0041 |
| 16(LabXYZxyz+composição) | 7 | 0.80 | 0.96 | 163 | 0.0016 | 0.0039 |

Quadro 4.5: As melhores configurações de RNA para a predição da proporção de utilização dos corantes.

Quanto a predição da concentração dos corantes, foram utilizadas duas representações de saídas distintas. Na primeira forma, um artifício matemático é utilizado com a finalidade de aumentar o grau de importância em representações com baixa concentração. Tal artifício é caracterizado na Equação 4.2.

$$x_i = \sqrt{\frac{x_i}{\max(x)}} \quad (4.2)$$

onde
 x - entrada
 i - índice

Os resultados alcançados com o emprego da Equação 4.2 são mostrados Quadro 4.6.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro trein. | Erro testes |
|---------------------------|------------------|------|-------|---------|-------------|-------------|
| 27(3LabXYZxyz) | 1 | 1.10 | 0.96 | 130 | 0.0010 | 0.0015 |
| 9 (3Lab) | 1 | 0.80 | 0.96 | 68 | 0.0013 | 0.0014 |
| 9(LabXYZxyz) | 1 | 0.50 | 0.94 | 132 | 0.0010 | 0.0015 |
| 34(3LabXYZxyz+composição) | 1 | 1.20 | 0.92 | 124 | 0.0036 | 0.0048 |
| 16(3Lab+composição) | 1 | 1.20 | 0.96 | 82 | 0.0016 | 0.0024 |
| 16(LabXYZxyz+composição) | 1 | 1.20 | 0.93 | 77 | 0.0018 | 0.0027 |

Quadro 4.6 : As melhores configurações de RNA para a concentração com a normalização empregando a radiciação.

Em uma visão global, a arquitetura do sistema desta solução é ilustrada na Figura 4.4.

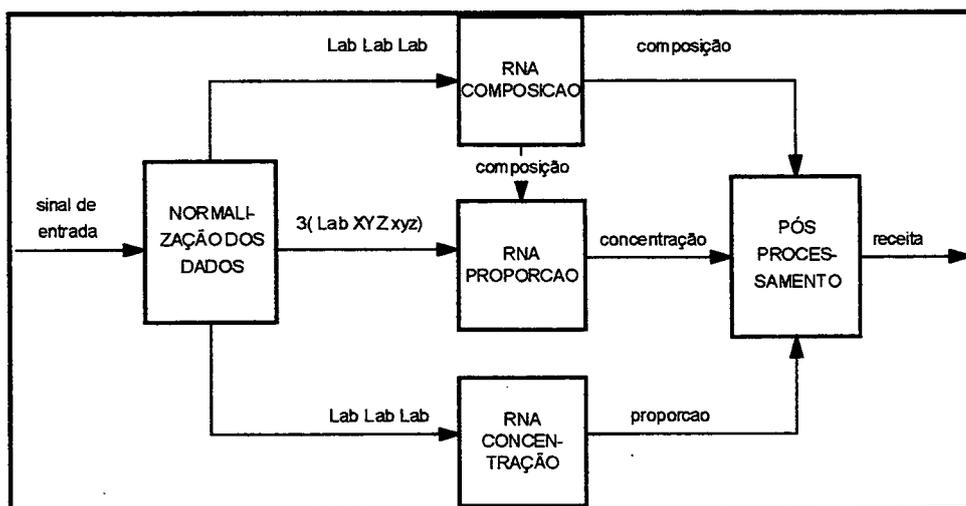


Figura 4.4 : Representação gráfica da primeira alternativa.

Em um segundo momento são implementadas as RNAs para concentração normalizando-se os dados pelo valor máximo encontrado. Tal normalização é caracterizada pela Equação 4.3.

$$x_i = \frac{x_i}{\max(x)} \quad (4.3)$$

onde
 x - entrada
 i - índice

Os resultados alcançados com o emprego da Equação 4.3 são mostrados Quadro 4.7.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro trein. | Erro testes |
|---------------------------|------------------|------|-------|---------|-------------|-------------|
| 27(3LabXYZxyz) | 1 | 1.20 | 0.90 | 39 | 0.0041 | 0.0039 |
| 9 (3Lab) | 1 | 0.70 | 0.93 | 46 | 0.0040 | 0.0034 |
| 9(LabXYZxyz) | 1 | 1.10 | 0.96 | 39 | 0.0040 | 0.0038 |
| 34(3LabXYZxyz+composição) | 1 | 1.20 | 0.92 | 124 | 0.0036 | 0.0048 |
| 16(3Lab+composição) | 1 | 1.20 | 0.96 | 82 | 0.0046 | 0.0044 |
| 16(LabXYZxyz+composição) | 1 | 1.20 | 0.92 | 69 | 0.0054 | 0.0046 |

Quadro 4.7 : As melhores configurações de RNA para a concentração com a normalização sem o emprego da radiação.

A Figura 4.5 ilustra a arquitetura do sistema com um solução alternativa. Como pode ser percebido, o esquema abaixo é bastante semelhante a solução anterior, porém existe uma diferença na normalização da saída.

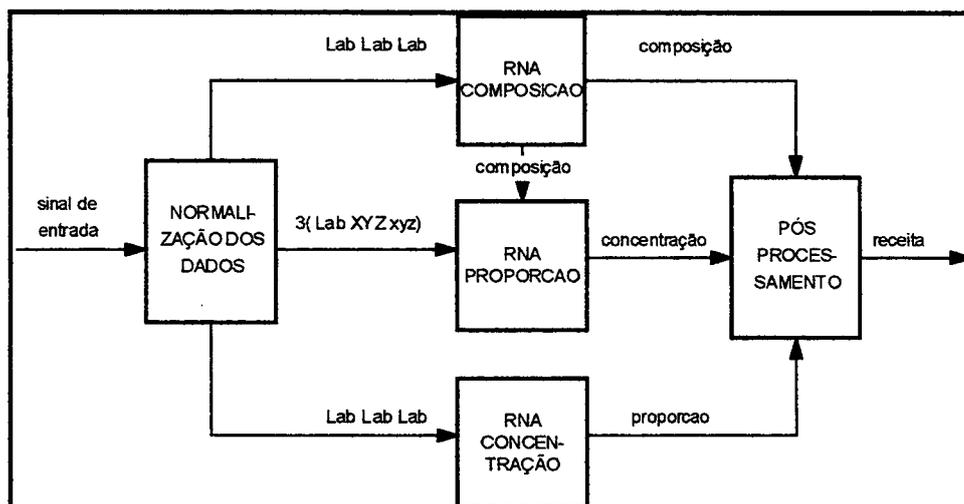


Figura 4.5 : Representação gráfica da segunda alternativa.

4.4.2.2 PREDIÇÃO DIRETA DA QUANTIDADE DOS CORANTES

A idéia desta solução utiliza-se de apenas uma RNA destinada a prever quantos gramas de cada corante serão necessários para a produção de um quilograma de tinta.

Aqui também foram utilizadas as duas formas de normalização citadas no tópico anterior. O Quadro 4.8 e Figura 4.6 mostram os resultados alcançados e a arquitetura da alternativa na aplicação da normalização com radiciação.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro trein. | Erro testes |
|---------------------------|------------------|------|-------|---------|-------------|-------------|
| 27(3LabXYZxyz) | 7 | 0.90 | 0.91 | 81 | 0.0070 | 0.0083 |
| 9 (3Lab) | 7 | 0.50 | 0.92 | 86 | 0.0061 | 0.0079 |
| 9(LabXYZxyz) | 7 | 0.60 | 0.94 | 93 | 0.0064 | 0.0081 |
| 34(3LabXYZxyz+composição) | 7 | 1.20 | 0.93 | 135 | 0.0017 | 0.0023 |
| 16(3Lab+composição) | 7 | 1.20 | 0.96 | 82 | 0.0011 | 0.0017 |
| 16(LabXYZxyz+composição) | 7 | 1.20 | 0.96 | 99 | 0.0010 | 0.0017 |

Quadro 4.8 : As melhores configurações de RNA para a especificação dos gramas de corantes com a normalização empregando a radiciação.

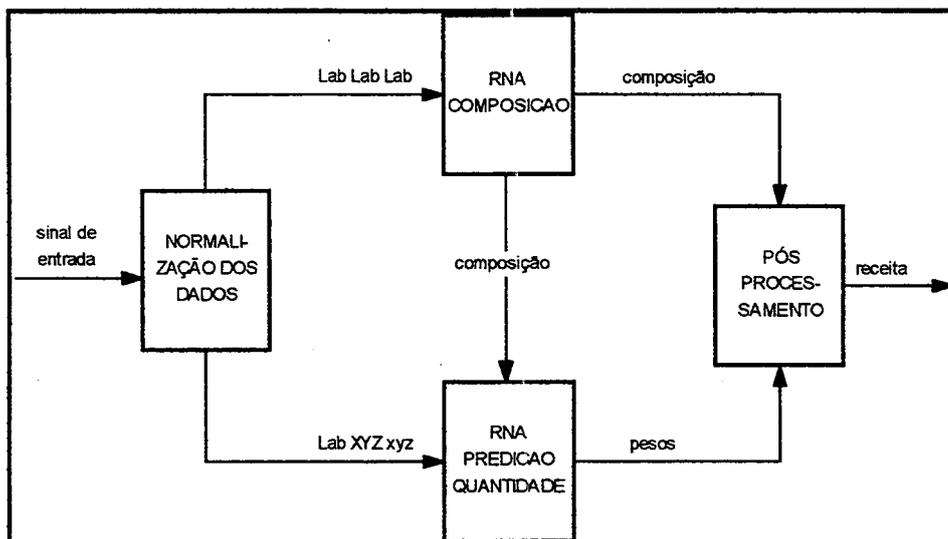


Figura 4.6: Representação gráfica da terceira alternativa.

Já o Quadro 4.9 e Figura 4.7 mostram os resultados alcançados e a arquitetura da alternativa na aplicação da normalização pelo máximo valor encontrado.

| Número de entradas | Número de saídas | Raio | Corte | Centros | Erro trein. | Erro testes |
|---------------------------|------------------|------|-------|---------|-------------|-------------|
| 27(3LabXYZxyz) | 7 | 1.20 | 0.95 | 83 | 0.0020 | 0.0023 |
| 9 (3Lab) | 7 | 0.60 | 0.94 | 84 | 0.0017 | 0.0023 |
| 9(LabXYZxyz) | 7 | 0.90 | 0.96 | 62 | 0.0021 | 0.0023 |
| 34(3LabXYZxyz+composição) | 7 | 1.20 | 0.93 | 135 | 0.0017 | 0.0023 |
| 16(3Lab+composição) | 7 | 1.10 | 0.95 | 81 | 0.0024 | 0.0023 |
| 16(LabXYZxyz+composição) | 7 | 0.90 | 0.96 | 138 | 0.0017 | 0.0024 |

Quadro 4.9 : As melhores configurações de RNA a especificação dos gramas de corantes com a normalização sem o emprego da radiação.

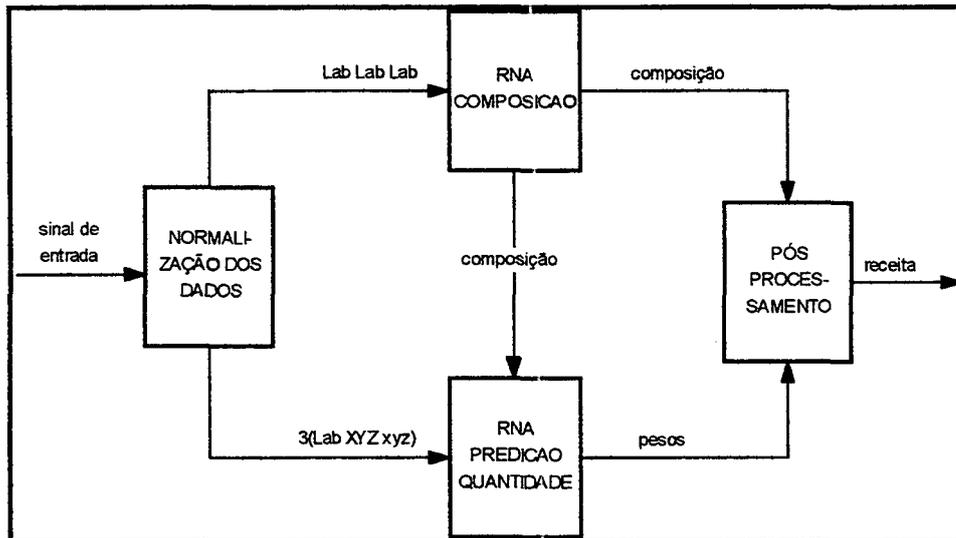


Figura 4.7: Representação gráfica da quarta alternativa.

4.5 RESULTADOS ALCANÇADOS

No trabalho preliminar de implementação das RNAs são quatro as propostas de solução pesquisadas. Cada qual com suas características quanto a forma e representação dos dados. Para comprovar sua eficácia, todas as propostas foram submetidas a alguns testes com a finalidade de comprovar o poder de generalização de cada uma delas e tornar possível a escolha da proposta de melhor desempenho.

Para tanto, foram selecionadas 21 cores para os respectivos testes. Estas cores, extraídas do Sistema Pantone, estão dentre as cores descartadas durante a coleta de dados devido a dificuldade encontradas. Os resultados destes testes são descritos nos tópicos a seguir. Salienta-se, entretanto, que nos testes de composição a solução proposta manteve o desempenho conseguido durante a fase de implementação da respectiva RNA. Os resultados são os seguintes:

- 17 composições ótimas, resultando em um sucesso de 81%;
- 02 composições parcialmente corretas, as quais permitiam o alcance da cor desejada (9.5% das composições);
- 02 composições erradas (erro de 9.5%).

4.5.1 CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÃO COM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.4)

Esta solução obteve os seguintes resultados:

- 07 receitas ótimas;
- 12 receitas próximas do alvo, acarretando em pequenas correções; e
- 02 receitas erradas.

4.5.2 CONCENTRAÇÃO E PROPORÇÃO SEM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.5)

Esta solução obteve os seguintes resultados:

- 10 receitas ótimas;
- 09 receitas próximas do alvo, acarretando em pequenas correções; e
- 02 receitas erradas.

4.5.3 PREDIÇÃO DOS GRAMAS COM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.6)

Esta solução obteve os seguintes resultados:

- 11 receitas ótimas;
- 08 receitas próximas do alvo, acarretando em pequenas correções; e
- 02 receitas erradas.

4.5.4 PREDIÇÃO DOS GRAMAS SEM RADICIAÇÃO (FIGURA 4.7)

Esta solução obteve os seguintes resultados:

- 06 receitas ótimas;
- 09 receitas próximas do alvo, acarretando em pequenas correções; e
- 06 receitas erradas.

4.6 OBSERVAÇÕES

Os resultados alcançados durante o trabalho prático mostram a viabilidade da solução. Sabe-se que é necessário um trabalho mais extenso para incrementar a performance do sistema e, subseqüentemente, apontar qual a melhor alternativa. Contudo, já se pode constatar que se está em um caminho válido em relação ao aperfeiçoamento do processo. Isso também pôde ser constatado pelo entusiasmo da equipe. Segundo relatos, está-se diante uma alternativa válida à substituição do sistema existente, pois segundo eles, as performances das soluções superam as expectativas iniciais. O Quadro 4.10 faz um comparativo, em gramas, das receitas preditas pelo sistema existente e o sistema proposto, confrontando-as a opinião do colorista em três critérios: bom, regular com ajustes e péssimo com muitos ajustes. Este quadro, sem dúvida, demonstra superioridade do sistema implementado perante o sistema existente.

| Cor | Método | Amarelo | Amarelo Ouro | Laranja | Magenta | Azul Turquesa | Azul Royal | Preto | Opinião colorista |
|-----|-------------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------------|-------|----------------------|
| 1 | tradicional | 0.00 | 6.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | Regular |
| | RNA | 0.00 | 11.20 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | Bom |
| 2 | tradicional | 0.00 | 10.10 | 1.10 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Regular |
| | RNA | 0.00 | 13.80 | 0.00 | 0.85 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | Bom |
| 3 | tradicional | 0.00 | 0.00 | 16.10 | 4.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Regular |
| | RNA | 0.00 | 10.70 | 6.80 | 10.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Bom |
| 4 | tradicional | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.70 | 0.00 | 38.80 | 0.00 | Bom |
| | RNA | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.70 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | Regular |
| 5 | tradicional | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 1.80 | Péssimo |
| | RNA | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 3.20 | Regular |

Quadro 4.10 : Comparativo do desempenho da solução proposta.

E em relação aos erros ocorridos, durante a fase de testes, estes são encarados como parte de um trabalho ainda prematuro. Como as RNAs utilizadas foram implementadas com uma gama de observações apenas razoável, cerca de 713 no total, muitas das possibilidades de entradas não foram corretamente mapeadas, acarretando assim, em brechas no espaço de solução (Figura 4.3).

Acredita-se, entretanto, que com a aquisição de mais observações para o treinamento e testes pode-se chegar a uma performance muito melhor do que a alcançada até então.

Outra observação interessante se relaciona à média do erro quadrático. Inicialmente desacreditada como fator de penalização, esta mostrou-se, que mesmo pontual, pode ser um bom indicador em problemas que envolvam múltiplas soluções.

Salienta-se ainda que na estamperia em questão nunca foi desenvolvido um trabalho desta magnitude. Tal empreendimento resultou não só na aspiração do melhoramento do processo, mas também em um catálogo de cores, o qual é utilizado como uma fonte de consulta de padrões de cores.

4.7 LIMITAÇÕES DA SOLUÇÃO PROPOSTA

Embora a solução alcançou um bom desempenho inicial, já se pôde constatar alguns pontos limitantes desta, entre eles:

- **estado embrionário da tecnologia em relação ao problema:** a aplicação de RNAs para predição de receitas de cores representa um ponto de partida radical em relação aos tratamentos matemáticos convencionais. São poucos os estudos onde existe a aplicação desta tecnologia para a solução de problemas relacionados ao tratamento de cores.
- **a grande variedade de substratos:** em uma indústria têxtil existe uma grande variedade de substratos, porém, neste trabalho, as RNAs foram treinadas com dados relacionados a um determinado substrato. Mas nada impede de se encontrar uma relação entre os diversos substratos e contornar esta limitação.
- **a grande variedade de corantes:** sabe-se que devido a características físicas intrínsecas, o tratamento dos diversos tipos de corantes (reativos e pigmentos, por exemplo) é difícil. Neste sentido, para contornar esta limitação, deve-se fazer um estudo e um trabalho diferente para cada tipo de corante.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

“...O homem de muita inteligência, o gênio, que persegue a realização de algum grande empreendimento, triunfa se tem fé...”

Allan Kardec

Trabalhos de pesquisa sempre acrescentam algo ao homem. Além de novos ensinamentos fica a impressão que sempre há algo mais à fazer. Assim novos caminhos são trilhados visando sempre atingir novos patamares na evolução.

Nesta parte do trabalho são relatados alguns desses novos ensinamentos adquiridos, assim como sugestões para novos trabalhos que contribuiriam a idéia aqui defendida.

5.1 CONCLUSÕES

A primeira e principal conclusão do presente trabalho é a não existência da exatidão na cor em uma indústria têxtil. O processo produtivo desde a estampagem até o acabamento final dificulta em muito um controle otimizado. São muitos os processos que agem sobre um tecido estampado (pré-secagem, vaporização, lavagem, acabamento,...) que poderiam acarretar em disfunções em um contexto global. Porém, os resultados alcançados mostram que se não existe uma solução otimizada tem-se uma boa alternativa que, ao menos, conduz a uma resposta muito mais próxima do esperado.

Quanto a presença humana no problema de predição de receitas de cores na estamparia têxtil, esta se faz necessária tanto na avaliação quanto na correção de cores. Porém, nada impede o colorista de buscar apoio na tecnologia visando facilitar seu trabalho.

Com o estudo mais profundo da tecnologia de RNAs, viu-se a grande versatilidade desta tecnologia no tratamento de problemas complexos. É impressionante o que unidades tão simples, agindo coletivamente, são capazes de fazer. RNAs, sem dúvida, é uma tecnologia a ser vista com bons olhos em propostas de solução onde uma modelagem matemática se torna difícil. Contudo, percebe-se que quanto mais simples forem as funções desempenhadas pelas RNAs, melhor pode ser o poder de resposta destas. Isso pode ser observado neste trabalho que apresenta uma proposta de solução com o emprego de até três RBFs.

Em relação à solução implementada, com os resultados adquiridos, esta não é a solução definitiva. Está-se somente em estudos iniciais. Mais dados serão necessários para um melhor aperfeiçoamento. Até outras idéias surgiram ao longo deste trabalho, porém, estas são encaradas como trabalhos futuros.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Quanto à continuidade deste trabalho, pode-se enfatizar o estudo de outras técnicas de IA incorporadas à solução proposta. Isso se torna um atrativo já que não se sabe que desempenho seria alcançado com a incorporação destas novas técnicas. Sugestões para o aperfeiçoamento são a incorporação de um Sistema Difuso ou de um Sistema Especialista afim de transpor a dificuldade de interpretação lingüística das respostas fornecidas.

Porém, ao longo dos estudos, constatou-se outras ótimas sugestões como trabalhos futuros para os seguintes problemas:

- **o estudo dos pontos de saturação:** a medida que as cores escurecem a concentração dos corantes aumenta, entretanto, a sensibilidade humana em relação concentração diminui. Ou seja, se for produzida uma determinada cor com 50 gramas de corante e outra com 60 gramas, talvez, não seja observada nenhuma diferença significativa. Realizar um trabalho neste sentido, provavelmente, resultaria em significativas economias para qualquer indústria que lide com tais produtos.

- **a especificação computadorizada de receitas de cores na tinturaria têxtil:** o problema abordado nesta dissertação também existe na tinturaria têxtil. Inspirando-se neste trabalho, acredita-se que com facilidade poderia-se tratar o mesmo problema em um contexto diferente.
- **a especificação computadorizada de receitas de cores com outros tipos de corantes ou de substratos:** como forma de ampliar o escopo de resolução, uma vez alcançado um desempenho satisfatório, este trabalho poderia ser ampliado, tratando mais algumas variáveis como os diferentes substratos e diferentes tipos de corantes.

ANEXOS

The Use of Fuzzy Sets for Color Recipe Specification in the Textile Print Shop

Rautenberg, Sandro
Fanderuff, Damaris
Pacheco, Roberto
Martins, Alejandro
Todesco, José Leomar
Barcia, Ricardo

Engenharia de Produção e Sistemas
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - Brasil
dinho@eps.ufsc.br

Abstract

Color recipe specification in textile print shop requires a great deal of human experience. There is an intrinsic knowledge that makes the computing modeling a difficult task. One of the main issues is the human color perception. A small variation on the intenseness of colorants can lead to very different results. In this paper, we propose a fuzzy model to color recipe specification in the textile print shop. The method has been applied on a real environment with the following results: it allowed the modeling of the intuitive nature of color perception; it made possible to simulate the color mixing process on a computer; and it became a suitable means for training on color recipe specification.

Keywords: Textile print shop, Color Recipe, Fuzzy Sets.

1. Introduction

One of the more important processes in the textile industry is the development of an appropriate color to print a certain kind of fabric. Issues such as product, esthetic beauty, art creativity, among others things, are directly dependent on this development. In general, these issues are the main points observed by customers, causing direct impact on sales [9].

Even being so important, on the majority of the industries, the color recipe process is yet very primitive. It is basically resumed in the attempt of reaching a desired color. In this process, the person in charge uses experience, mixing the colorants to obtain the target color [10]. In many cases, this process leads to dissatisfied results, with a high number of failures and a considerable amount of wasted material. The nature of the method may lead to failures even when the colorist is an color recipe expert [12].

To profile this situation, many companies invest in the acquisition of a spectrophotometer and in a recipe computerized formulation system. Nevertheless, such investments occur without a previous study regarding the adaptation of the company environment. In this case, the company may face some problems, specially after the system has been implemented [3].

On the current state-of-the-art, the color development is intrinsically dependent on the individual perception, making color recipe a highly specialized task. The colorist uses his/her experience comparing and prescribing colors with hypothesis such as: “this color needs less magenta,” “the green needs to be more bluish,” among others. These examples show the imprecision in the process and the usefulness of fuzzy sets problem [4] [6] [8].

In this article we propose a system to simulate the human color perception on textile print shop. The system is able to catch and lay up the knowledge requested and to deal with the imprecision inherent in the process. The main result is the system capability of helping individuals in the development of a certain color. It is also a source for training to others involved in the process of stamping the fabric.

2. Colors

Color has always been an object of men fascination in most diverse areas of science. Color is studied in arts, psychology, anthropology, medicine, religion and others [15]. It should not be a surprise the existence of a science exclusively dedicated to the color study [9] [11].

The word “color” can be defined by the following concepts: “Body appearance as the way they reflect or dissipate the light”. “Particular impression caused in the feeling of eyesight by different luminous rays, single or combined, when reflected by the body” [13]. From these definitions one can conclude that the color impression depends on spectrometric characteristics of:

- the luminous source;
- the observed object;
- the observer’s eyes;

The last item makes color identity subjective and dependent on the textile colorist view. Modeling such subjectiveness can turn the process of color recipe a computational model phenomenon.

3. The Color Recipe Specification

Color has always represented something special to humans. It is an inherent characteristic of common objects (houses, ware, adornments, clothes, among others) [1]. This makes the color correctness a crucial issue, directly related to product quality and customer satisfaction. Colorist are always facing a challenge when dealing with new color mixes.

The paint preparation for textile print shop, technically known as “print paste”, requests knowledge on textile chemistry [7]. The main paste element is the colorant. The correct choice and appropriate handling of colorants are the more complex tasks to the colorist.

The process is based on the measurement of how much each colorant participates in the mix (*i.e.*, in the new color). Besides the color mix, the colorist has to consider the kind of fabric that will be painted [10]. For instance, pigment colorants are used in smooth fabric while reactive colorants are used in fabrics such as velvet.

The colorist has to take into account another set of variables related to color consistence. The illumination condition of the environment where the colors are being

created and the quality of the colorants, for instance, have direct impact on the resultant color.

In the current process, the colorist decisions are based mainly on his/her professional experience with color development. The amount of each colorant in the mixture is determined intuitively and based on practical experiences on different mixes [7]. The lack of an explicit methodology may cause a lot amount of re-work or waste of raw material. Besides, the subjectivism of color evaluation makes difficult to reach a complete agreement of how close a color is from the initial target. Variables such as age, tiredness, visual defect, opinions, taste, etc. can make color perception different among observers [9].

Another factor is how sensible the mixture is to an increase in the amount of a colorant. There are colorants that, when mixed in a small quantity, interfere a lot on the final result. In Table 1 we present the quantity (in grams) of each colorant to the production of one kilogram of paint. The *pantones* identify the colors according to industry standards.

Table 1: Textile color recipes.

| PAN TONE | yellow | gold yellow | Orange | magenta | cyan | royal blue | black |
|----------|--------|-------------|--------|---------|------|------------|-------|
| 130 | - | 24.00 | - | 0.20 | - | - | 0.70 |
| 137 | - | 16.00 | 0.60 | 0.10 | - | - | - |
| 210 | - | - | - | 1.00 | - | - | - |
| 472 | - | 1.80 | - | 0.90 | - | - | 0.15 |
| 632 | 0.30 | - | - | - | 10.5 | 4.00 | - |

Another aspect is the visualization of the paste before and after printed on fabric. It is common to reach unexpected results on fabric even when the paste seems to be ready.

4. Research on Color Recipe Prediction

Colorant manufactures invest considerable amount of money in order to develop color recipe by computational systems. Ciba-Geigy, for instance, developed a system that foresees recipes using its reactive colorants. The main problem with such systems is that their solution is highly specialized, that is, it works only on a confined environment (only for the manufacture's colorants). The system does not address crucial issues such as adaptability to the textile manufacturer color policy, or the combination of colorants of different suppliers. The textile industry usually apply this system as the initial point to the color development. Current research shows that colorant manufacturers keep working on their own color recipe system. Ciba-Geigy, for instance, is developing a system for recipe prediction with its pigment colorants.

In 1990, three companies, including the textile manufacturer Coats Viyella, formed a consortium. One of the objectives was to develop a system to color recipe prediction in textile, paper and surface coating [5]. Table 2 shows the results of tests.

Artificial Intelligence techniques were also proposed for color recipe prediction. In order to model the specialized knowledge of the process, Bishop, Bushnell, and Westland developed a neural network for color recipe prediction [2]. The system was able to imitate the colorist behavior. The neural net developed consists in a Backpropagation with the architecture 3-8-16-3. The authors emphasize that the neural network easily identified the relationship between colorant and color, determining the amount each colorant in the desired mix. The results were considered satisfactory, with 60% of the predictions resulted in a mistake (ΔE) smaller than 1. Other interesting result was the system response with the amount of colorant. The predictions that should employ a single colorant produced the biggest mistakes. However, when the mix involved more than one colorant, the system answered very well. In 78% of the cases the mistake was smaller than 0,8.

Table 2: Test Results in Color Recipe Prediction.

| | Total of tests | ΔE |
|-----------------|----------------|------------|
| textile | 22 | 1.0 |
| surface coating | 11 | 1.1 |
| paper | | |
| • transparent | 12 | 1.2 |
| • opaque | 5 | 1.1 |

5. A Fuzzy Approach to Color Recipe Specification

Although the neural nets technology reached a good precision regarding color recipe prediction, they are not able to explain the results. This may be a barrier to the adoption of the technique by textile manufacturers, particularly the ones interest in training new colorists. Due to the nature of recipe color prediction, the training of new professionals can take a lot of time. It is difficult to acquire the sensibility and experience required for developing good recipes. In this case, neural net technology seems to be inappropriate. There is need for a technique able to deal of the issue of the subjectivity and the uncertainty inherent to the process. This is another case where it seems unavoidable to deal with the approximate nature of human reasoning, by considering “inexactiveness” directly in the model [6].

The main issue in color recipe is then the subjectivity associated to the colorist knowledge. The strategy consists in modeling expressions such as “a little bit lighter medium blue”, “little more magenta”, and “less dark cyan”. This has been naturally done by Fuzzy Set Theory [4]. By keeping the linguistic terms used by the colorist, the system is a natural candidate to be used as a training tool as well as an automatic color recipe developer.

The development of a color recipe prediction system requires the utilization of technologic resources, particularly the spectrophotometer. This equipment quantifies

the human perception regarding a certain color [3] [13]. The spectrophotometer output is a color evaluation in a so-called Lab scale. The first step is to convert this scale to another parameter, more intuitive to the colorist. An example is the CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) scale. By working with this scale, the knowledge acquisition process becomes easier.

In this scale, the values range from 0 to 100%. The conversion of variables in this range into fuzzy sets is straightforward. For instance, one can build fuzzy sets such as *low*, *medium* and *high* for each CMYK channel. The system output can be modeled as fuzzy sets as well, where each set represents a colorant to be used in the textile print shop. Besides the linguistic variables, the system models modifiers such as “many”, “like” or “slightly” by means of fuzzy hedges. Given a certain target CMYK, the system fires the generalized modus ponens inference rule [4]. Each rule yields a particular fuzzy region representing a suggested colorant to the mix. The final answer is the defuzzified values obtained from each fuzzy region, that is, the amount of each colorant.

The key issue in modeling the colorist perception as fuzzy sets is to establish the correct support sets. It is also needed to reveal how the colorist works with modifiers. These are two critical and difficult aspects of the knowledge acquisition phase in fuzzy modeling, usually implying in several interviews and simulation tests with the colorist. Variables such as saturation, physical characteristics regarding colorant reactions, and visualization factors have to be elucidated in these interviews.

In this work, we start from an initial evaluation with fuzzy sets extracted from an example of color recipe. The purpose is to show how fuzzy modeling can make the color recipe an automatic process, taking into account the colorist's perception (fuzzy sets) and knowledge (fuzzy rules).

Figure 1 represents three fuzzy sets modeling the input variables of a color recipe system. They are evaluated according to the color saturation used in the mix (measured in CMYK percentage). The linguistic terms and the correspondent intervals were obtained in the knowledge acquisition task.

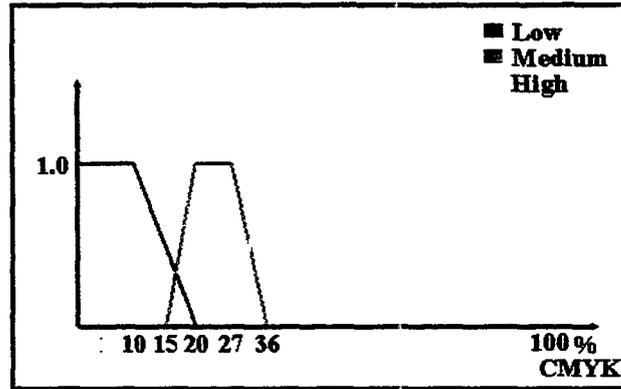


Figure 1: Input fuzzy sets (color saturation)

Figure 2 represents the fuzzy sets associated to the color recipe output. The system output is the amount (in grams) of colorant needed to yield the target color. The system uses the linguistic classification of colorant quantities informed by the colorist. The support sets are the weight related to each term.

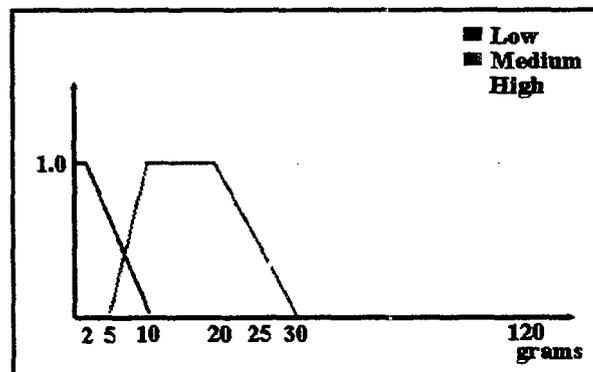


Figure 2: Output fuzzy sets (amount of colorant).

Each color combination needs a different mix of colorants. The colorist basically determines a CMYK combination according to the target color. Then, it is set the colorant amounts that hopefully yields the color combination. The fuzzy rules elucidated have the following form:

IF CYAN is very (more (more(more(high)))) AND
 MAGENTA is very(more(more(more(high))))
 THEN ROYAL is very(more(more(more(high)))).

Given a target color, the system evaluates each rule applying max-min compositions until reaching the defuzzification phase. The colorant amounts are the crisp values obtained by the inference process.

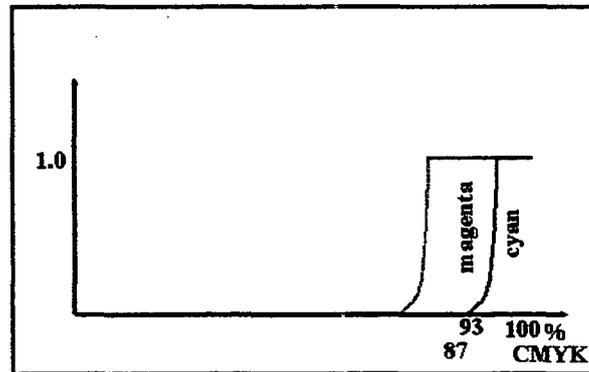


Figure 3: Example of the fuzzy reasoning process (input variables).

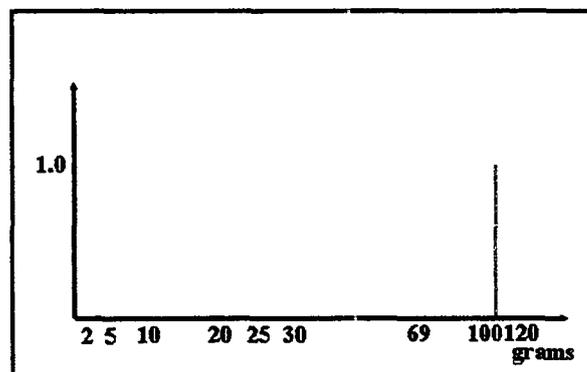


Figure 4: Example of the fuzzy reasoning process (output variables).

Figure 3 and Figure 4 represent the fuzzy reasoning process used in an example of color recipe determination. The vertical lines represent the spectrophotometer reading, after converted to scale CMYK (Figure 3) and the colorist decision actually applied in that case (Figure 4). It can be seen that there is a clear correspondence between the defuzzification of the fuzzy region (system output) and the colorist decision. Fuzzy sets and fuzzy reasoning seem to capture the subjectivity of the color recipe determination process. It yields both knowledge on the intuitive basis (linguistic variables) and reasoning based on the colorist empirical experiences with color combination (fuzzy rules).

6. The Experience on the Textile Manufacturer

The system described in this paper is under development on a print shop laboratory of a textile manufacturer. The preliminary results have encouraged the managers to invest more research on a system for color recipe determination. They see three major advantages on having a system for such task: (a) the system can reduce the time spent in recipe elaboration; (b) it can reduce the company dependence on specialized staff (actually, the chief colorist is about to retire and there is great concern about losing know-how); and (c) it can be a suitable means for training of new professionals.

The first results have already reached these objectives in some extent. The system response in simulated tests is extremely higher than practical evaluation. When the system response was used as the first recipe, the whole process was reduced from 24 to 2 hours, including the recipe composition and the tests applied to fabric samples.

The current experiments are being collected by a freshman colorist, engaged on the knowledge acquisition process. He has used the system knowledge-base in his own learning and has helped to develop new tests for performance evaluation.

7. Conclusions and Future Work

In this paper we described how fuzzy sets can be applied to the recipe color specification in textile print shop. The intrinsic subjectivism in the human perception of colors makes the computing modeling a difficult task, particularly when conventional tools are applied. A fuzzy system is a two-fold benefit application: first, it captures the nature of the colorist knowledge, making possible to adapt the linguistic variables to different environments and manufacturer's color policies; second, it makes the color recipe an automatic process, saving time and resources when new colors have to be set up for certain fabric.

The system has already showed some economic benefits to textile manufacturers. The time and amount of raw material necessary to reach a certain color can be significantly reduced. The system yields a response free from environmental and

cognitive variables that influence the colorist in practical experiments. The most noticeable result is a faster product with a smaller material lost.

Another feature discussed is the use of the system as a tutorial system. The system knowledge-base is transparent and shows exactly the way the colorist approaches the problem. A new interface can be built using this knowledge to evaluate simulated responses and to show more appropriate recipes to beginners.

Although these results were already perceived in the real field, there is still room for other approaches. Actually, the most difficult step, the knowledge acquisition, can be notably improved by the adoption of automatic knowledge extraction techniques (e.g., rule-extraction [15], fuzzy neural networks [16], or hybrid learning techniques [17]). Such methods can elucidate rules directly from a set of samples composed by pairs (color target; colorant mix), avoiding most of the steps on the laborious knowledge acquisition task.

8. References

- [1] Araújo. M., and Castro, E. M. M.; *Manual de Engenharia Têxtil (Textile Engineering Manual)*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, September 1984.
- [2] J. M. Bishop, M. J. Bushnell, and S. Westland, "Application of Neural Networks to Computer Recipe Prediction". *Color research and application*, John Willey & Sons, New York, February 1991, pp. 3-9.
- [3] R. Hirschler, L.C.R. Almeida, and K.S. Araújo. "Formulação computadorizada de receitas de cores de tingimento e estampania têxtil: como obter sucesso na indústria" ("Computerized color recipes in textile print shop: how to obtain success in industry"). *Química Têxtil*, Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, Barueri - São Paulo, September 1995, pp. 61-67.
- [4] Klir, G.J., and B. Yuan. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: theory and applications*. Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [5] R. Luo, P. Rhodes, J. Xin, and S. Scrivener. "Effective colour communication for

- industry". *JSDC*, Society of Dyers and Colorist, Bradford, December 1992, pp. 516-520.
- [6] Kandel, A.; Pacheco, R. C.; Martins, A.; Khator, S.; "The Foundations of Rule-based Computations in Fuzzy Models, in *Fuzzy Modeling: Paradigms and Practice*, Ed. By W. Pedrycz Kluwer Academic Press, 1996.
- [7] Ribeiro, E.G., *Como iniciar uma estamperia em silk-screem (how to open a textile print shop)*, CNI, Rio de Janeiro, 1987.
- [8] Welstead, S.T., *Neural network and fuzzy logic applications in C/C++*, John Willey & Sons, New York, 1994.
- [9] Farina, M., *Psicodinâmica das cores em comunicação*, (psycho-dynamics of colors in communication) Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1990.
- [10] Vigo, T., *Textile Processing and Properties - preparation, dyeing, finishing and performance*, Elsevier, Amsterdam, 1994.
- [11] Billmeyer, F.W.Jr., and M. Saltzman, *Principles of color technology*, John Willey & Sons, New York, 1981.
- [12] Ingamells, W., *Color for textiles*, Society of Dyers and Colorist, Bradford, 1993.
- [13] M. R. Costa, "Princípios básicos da colorimetria", (Basic Principles of Coloring) *Química Têxtil*, Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Textéis, Barueri - São Paulo, June 1996, pp. 36-71.
- [14] Lammens, J.M.G., *A computational model of color perception and color naming*, Faculty of the Graduate School of State University of New York at Buffalo, New York, June 1994.
- [15] Abe, S.; and Lan, M. -S.; "A method for fuzzy rule extraction directly from numerical data and its application on pattern classification," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 18-28, 1995.

- [16] Ishibuchi, H. ; Kwon , K.; and Tanaka, H.; "A learning algorithm of fuzzy neural networks with triangular fuzzy weights," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 71, pp. 277-293, 1995.
- [17] Bonarini, A.; "Evolutionary Learning of Fuzzy Rules: Competition and Cooperation", in *Fuzzy Modeling: Paradigms and Practice*, Ed. By W. Pedrycz Kluwer Academic Press, 1996.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Luiz Cláudio R. de *et al.* Formulação computadorizada de receitas de cores de tingimento e estamparia têxtil como obter sucesso na indústria. *Química Têxtil*, N. 12, p. 60-67, junho de 1995.
- ARAÚJO, Mário de, CASTRO, E. M. De Melo e. *Manual de engenharia têxtil*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- BAUCHPIESS, Adolfo *et al.* Redes neurais de base radial para o servocontrole auto-ajustável de sistemas posicionadores. *Anais do III Congresso brasileiro de redes neurais*. Florianópolis, p 472-477, julho de 1997.
- BERRY, Micheal J. A., LINOFF, Gordon. *Data mining techniques: for marketing, sales, and customer support*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- BILLMEYER, Fred W Jr, SALTZMAN, Max. *Principles of color technology*. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- BISHOP, J.M., BUSHNELL, M. J. Application of neural networks to computer recipe prediction. *COLOR research and application*, N. 01, V. 16, p. 3-9, fevereiro de 1991.
- BORGES, G. A., LIMA, A. M. N. Sistema óptico de reconhecimento de trajetória para veículos autônomos utilizando redes neurais. *Anais do III Congresso brasileiro de redes neurais*. Florianópolis, p 414-418, julho de 1997.
- BRUNO, Flávio da Silveira. A importância da interação entre tecnologia e a sociedade na formação do especialista em soluções de problemas têxteis. *CETIQT Ensino & Tecnologia*, N. 20, p. 4-5, junho de 1994.
- CASSA, José C. *et al.* Previsão da resistência mecânica do concreto usando redes neurais artificiais. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 98-103, julho de 1997.

- COSTA, Mirko R. A colorimetria na indústria têxtil. *Química Têxtil*, N. 12, p. 39-47, junho de 1995.
- DEMUTH, Howard, BEALE, Mark. *Neural network toolbox: for use with Matlab*. Natick: The MathWorks Inc, 1994.
- FARINA, Modesto. *Psicodinâmica das cores em comunicação*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1990.
- FAUSSET, Laurene V. *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms and applications*. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- GAARDER, Jostein. *O mundo de Sofia: romance da história da filosofia*. São Paulo: Cia das Letras, 1995.
- FERREIRA, Mônica R. *et al.* Sintonia de controladores fuzzy utilizando redes neurais artificiais. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 449-454, julho de 1997.
- FRAGOMENI, Ana H. *Dicionário enciclopédico de informática*. Rio de Janeiro: Campus, 1986.
- GALVÃO, Roberto K. H. *et al.* Controladores neurais baseados no modelamento do operador humano. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 449-454, julho de 1997.
- GIBSON, Richard M. New concepts in color computer matching: the neural network approach. *AATCC BOOK of PAPERS*, N. 12, p. 154-159, 1992.
- GOLDBERG, David E. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. New York: Addison-Wesley Publishing Company INC, 1989.
- HARRISON, Thomas H. *Intranet data warehouse*. São Paulo: Berkeley Brasil, 1998.
- HAYKIN, Simon. *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.

- HUGO, Marcel. *Uma interface de reconhecimento de voz para o sistema de gerenciamento de central de informação de fretes*. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC.
- I-SHOU, Tsai *et al.* Applying an artificial neural network to pattern recognition in fabric defects. *Textile Research Journal*, N. 65, V. 03, p.123-130, março de 1995.
- KARTALOPOULOS, Stamatios V. *Understanding neural networks and fuzzy logic: basic concepts and applications*. Piscataway: IEEE Press, 1996.
- KOVACS, Zsolt L. *Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Acadêmica, 1996.
- _____. *O cérebro e a sua mente: uma introdução à neurociência computacional*. São Paulo: Acadêmica, 1997.
- LAMMENS, Johan Maurice Gisele. *A computational model of color perception and color naming*. Buffalo, 1994. Tese (doctor of philosophy) - State University of New York.
- LOESCH, Claudio. *Redes Neurais Artificiais: fundamentos e modelos*. Blumenau: Ed. da Furb, 1996.
- _____. *Detecção e diagnóstico de irregularidades na indústria de fiação têxtil*. Florianópolis, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC.
- _____, ADAM, Emerson de P. Reconhecimento de objetos em imagens bidimensionais. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 268-273, julho de 1997.
- LUCIDO, Gil Leonardo Aliprandi. Colorimetria: padronização e controle de qualidade. *CETIQT ensino & tecnologia*, N. 29, p. 12-13, 3º trimestre de 1994.

- LUO, Ronnier *et al.* Effective colour communication for industry. *JSDC*, N. 108, p. 516-520, dezembro de 1992.
- NETO, Areolino de A., GOES, Luiz C. S. Projeto de um controlador neural para o robô ITA-IEMP. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 384-389, julho de 1997.
- OLIVEIRA, Maria Helena de, MEDEIROS, Luiz Alberto R. de. Perfil do setor têxtil brasileiro. *Textília*, N.20, p. 05-17, 1996.
- ORR, Mark J. L. *Introduction to radial basis function networks*. <http://www.cns.ed.ac.uk/people/mark/intro/intro.html>. 17 de maio de 1997.
- Osório, Fernando S. *Um estudo sobre reconhecimento visual de caracteres através de Redes Neurais Artificiais*. Porto Alegre, 1991. Dissertação (Mestre em Ciências da Computação) – Curso de Pós-Graduação em Ciências da Computação, UFRGS.
- PANDYA, Abhijit S. *Pattern recognition with neural network in C++*. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- PEDROSA, Israel. *Da cor a cor inexistente*. Brasília, D.F.: Universidade de Brasília, 1989.
- PEREIRA, Cledy Gonçalves. *Um sistema especialista com técnicas difusas para os limites da agência*. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC.
- POPOV, V. *et al.* Forecasting electrical loads in distribution systems using combined fuzzy-neural network approach. *Anais do III Congresso Brasileiro de Redes Neurais*. Florianópolis, p 127-132, julho de 1997.
- POYNTON, Charles. *A Guided Tour of Color Space*. <http://www.inforamp.net/~poynton/Poynton-articles.html>. 31 de janeiro de 1998.

- RAJASEKARAN, S. Training-free counter propagation neural network for pattern recognition of fabric defects. *Textiles Resarch Journal*, N. 67, V. 06, p. 401-405, junho de 1997.
- RANDALL, Dan. Integration in color development and control. *American Dyestuff Reporter*, N. 20, p. 55-58, Agosto de 1995.
- RAUTENBERG, Sandro *et al.* The Use of Fuzzy Sets for Color Recipe Specification in the Textile Print Shop. *1998 IEEE World Congress on Computational Intelligence – FUZZ-IEEE98*. Anorage, p. 885-890, maio de 1998.
- RIBEIRO, Elsio Gomes. *Como iniciar uma estamperia em silk-screem*. Rio de Janeiro: Confederação Nacional da Indústria, 1987.
- RODRIGUES, Leonel Cezar *et al.* Estratégias tecnológicas como recurso competitivo do setor têxtil da região de Blumenau. *Revista de Negócios*, N.03, V.01, p. 13-30, abr/jun de 1996.
- ROSS, Timothy J. *Fuzzy logic with engineering applications*. New York: McGraw-Hill Inc., 1995.
- SERGEEV, S. A.; MAHOLITO, K. V. *Evolutionary synthesis of dynamical object emulator based on RBF neural network*. <http://www.cs.unibo.it/~gaioni/HTML/GA/TR/s.htm>. 31 de janeiro de 1998.
- SETTE S. *et al.* Self-organizing neural nets: a new approach to quality in textiles. *Textiles Resarch Journal*, N. 65, V. 04, p. 196-202, abril de 1995.
- SKAPURA, David M. *Building neural networks*. New York: ACM Press, 1996.
- STARKE, Julio F. *Comparativo entre modelos de redes neurais aplicadas ao reconhecimento da fala*. Blumenau, 1996. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências da Computação) - Departamento de Sistemas e Computação, FURB.

TODESCO, José L. *Reconhecimento de padrões usando rede neuronal artificial com uma função de base radial: uma aplicação na classificação de cromossomos humanos*. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC.

TOMINAGA, Shoji. Color notation conversion by neural networks. *COLOR reseach and application*, N. 04, V. 18, p. 253-259, agosto de 1993.

TONTINI, Gerson. *Automatização da identificação de padrões em gráficos de controle estatístico de processos (CEP) através de redes neurais com lógica difusa*. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Engenharia Mecânica, UFSC.

WAJCHENBERG, Moysés I. *Beneficiamentos têxteis*. São Paulo: Brasil, 1977.

WARREN, J. Jasper *et al.* Using neural networks to predict dye concentrations in multiple-dye mixtures. *Textile Research Journal*. N. 63, V. 09, p. 545-551, setembro de 1993.

WESTLAND, S. Advances in artificial intelligence for the colour industry. *Journal of Society of Dyers and Colorists*. V. 110, p. 370-375, dezembro de 1994.

ZOLLINGER, Hans Rudolf. Princípios básicos da colorimetria. *Química Têxtil*, N. 12, p. 36-71, junho de 1996.