

Convolução Adaptativa

R. Camargo, Luís Raunheite

Resumo. Este artigo tem como objetivo apresentar um método de utilização de técnicas convolucionais associadas a um núcleo subjacente para o desenvolvimento de um dispositivo adaptativo aplicado a uma base de dados objetivando funções de identificação de padrões. Essa aplicação representa a utilização de procedimentos adaptativos contendo funções de mineração de dados.

Palavras-chave: Adaptativo, núcleo subjacente, padrões, base de dados.

I. INTRODUÇÃO

Convolução é um processo aplicado normalmente em processamento de imagem como uma técnica para analisar e modificar quadros. A convolução aplicada a informação (dados), organizada de forma matricial, pode ser entendida como uma operação entre duas matrizes, geralmente bidimensionais, uma das quais é a matriz original e a outra é uma matriz de menor dimensão chamada de matriz de convolução ou núcleo de convolução. O núcleo de convolução representa uma função matemática qualquer e é aplicada sobre cada elemento da matriz original $p(x,y)$ sua vizinhança imediata, resultando em uma nova matriz $pc(x,y)$, que reflete a relação da matriz original com a função matemática dada pelo núcleo de convolução.

Pode-se fazer uma analogia da aplicação da técnica da convolução em banco de dados, com sua aplicação no processamento digital de sinais, onde sinal deve ser entendido como uma grandeza que varia no tempo e no espaço. Neste contexto o sinal é separado em componentes mais simples, de forma que cada componente seja processado separadamente e depois de processadas as componentes o resultado é reunido novamente.

II. TECNOLOGIA ADAPTATIVA

Na área da Tecnologia Adaptativa existem inúmeros estudos de técnicas com aplicações em diversas áreas [3] [5], cujas contribuições têm estimulado o desenvolvimento de novos recursos computacionais.

Nos dispositivos adaptativos desenvolvidos, encontram-se formalismos conhecidos e tradicionais, tais como autômatos de pilha estruturados, *statecharts*, redes de Markov, gramáticas, árvores de decisão, tabelas de decisão, entre outros

[5]. Isso mostra que há certa facilidade de uso das técnicas adaptativas, uma vez que [3] define um dispositivo adaptativo como um dispositivo formado por uma camada subjacente (núcleo do sistema) representada por um formalismo conhecido não-adaptativo e uma camada adaptativa, cujas funções agem sobre o núcleo, o que lhe confere a capacidade de automodificação, sem interferência externa, alterando suas estruturas topológicas, adaptando-se às necessidades requeridas de problemas específicos. Essa característica pode, desta maneira, conferir aos métodos adaptativos a classificação de sistemas inteligentes.

As ações adaptativas são implementadas na camada adaptativa e são responsáveis pelas alterações no conjunto de regras, gerando uma nova configuração do dispositivo [3]. De maneira geral, as ações adaptativas permitem que regras sejam consultadas, eliminadas ou incluídas no sistema.

III. NÚCLEO DE CONVOLUÇÃO

Uma maneira de se entender a convolução é como uma operação que copia uma matriz a partir de cada localização de elemento para outra, considerando o valor de todos os elementos na área onde a cópia acontece, para produzir a alteração no valor original do elemento da matriz, [4].

Pode-se descrever a convolução como um processo de somas ponderadas. Cada elemento da matriz na vizinhança é multiplicado pelo seu similar no núcleo de convolução; a soma de todos os produtos resulta no novo valor do elemento central de interesse. Cada elemento do núcleo de convolução é um fator de ponderação (também chamado de coeficiente de convolução). O arranjo dos fatores de ponderação no núcleo, bem como o tamanho do núcleo, determina o tipo de transformação que será aplicada ao dado da representação matricial. Mudando um fator de ponderação no núcleo de convolução muda-se a magnitude e até o sinal de toda a soma afetando o valor atribuído ao elemento de interesse.

A convolução por soma ponderada apresenta um problema na sua aplicação nas fronteiras da matriz. Com o movimento do núcleo de convolução através da matriz, ao chegar a fronteira da mesma quando o elemento de interesse estiver na fronteira, uma parte dos coeficientes do núcleo não estarão sobre elementos da matriz. Uma maneira de contornar este problema é ignorar as fronteiras da matriz no cálculo, outra é duplicar os dados da fronteira, de forma a adicionar uma fronteira à matriz original, permitindo assim o cálculo sobre a fronteira original.

A operação de convolução substitui o valor do elemento da matriz pela soma de seu valor com a valor dos elementos das vizinhanças, tudo multiplicado por um fator chamado de "núcleo de convolução", supondo que se use uma vizinhança de 3X3 elementos, chamando de $p(x,y)$ os pontos de matriz e

R. Camargo – Universidade Presbiteriana Mackenzie (correspondência: R. Oscar Freire, 235 – ap.31- São Paulo, SP, Brasil – cep: 01426-001; e-mail: rucamargo@usp.br).

Luís Tadeu Mendes Raunheite – Universidade Presbiteriana Mackenzie; e-mail: raunheite@mackenzie.br

os pontos do núcleo de $N(x,y)$ onde $x = 0, 1$ ou 2 , então o elemento central, $p(1,1)$ será substituído pela soma dos pontos, vezes o valor do núcleo.

$$p(1,1) = p(0,0) * N(0,0) + p(1,0) * N(1,0) + p(2,0) * N(2,0) + p(0,1) * N(0,1) + p(1,1) * N(1,1) + p(2,1) * N(2,1) + p(2,2) * N(2,2). \quad (1)$$

ou

$$p(1,1) = \sum_{m,n}^2 N(m,n) * p(m,n) \quad (2)$$

Esta é uma operação de correlação. Para convolução pode-se inverter a ordem dos valores do núcleo. A correlação é mais fácil de se entender e muitas convoluções de núcleo são simétricas, sendo equivalentes à correlação. Para convoluir uma área da matriz, deve-se repetir esta operação para cada posição de elemento na matriz de dados. Em cada ponto, deve-se multiplicar os valores do núcleo com os valores da matriz sobre ela, somar o resultado, e substituir o elemento do centro do núcleo com o valor. A equação então se torna:

$$p(x,y) = \sum_{m,n=0}^2 N(m,n) * p(x+m,y+n) \quad (3)$$

Convoluir uma área de tamanho X por Y com um núcleo de tamanho m por n requer $X*Y*m*n$ multiplicações e somas. Então uma matriz de 256 por 256 com um núcleo de 3 por 3 requer 589.824 multiplicações e somas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 4 representa o processo de convolução.

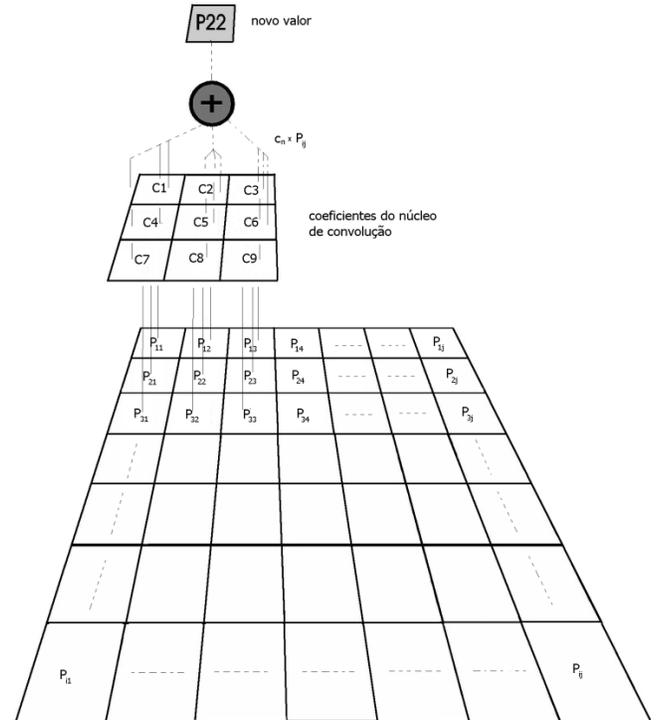


Figura. 1. Aplicação do processo de convolução

Quando se aplica a convolução para um problema de processamento de dados pensa-se na convolução como um filtro espacial. Em um filtro espacial, a convolução de núcleo é essencialmente para análise de uma pequena parte da matriz de dados que se quer amplificar ou detectar. Nesse contexto a escolha eficiente do núcleo pode detectar características na matriz de dados que permitam reconhecer padrões a partir da diferença de frequência dos resultados obtidos. Através da identificação de um determinado padrão o método proposto permitirá alterações no núcleo de convolução o que torna adaptativa a técnica, essa identificação será feita a partir de um índice obtido a partir da própria operação. O índice servirá como endereço que aponta para uma tabela de consulta onde será obtido um novo núcleo de convolução, núcleo de convolução adaptativo.

Considerando-se um sinal de entrada que passa através de um dado sistema resultando em um sinal de saída $x[n]$, (como mostrado na Figura.2), este sinal pode ser decomposto nas componentes de entrada ou seja componentes harmônicos, são frequências que compõe o sinal $x_0[n]$, $x_1[n]$, $x_2[n]$, etc. Cada componente de entrada é individualmente aplicada ao sistema, resultando em um conjunto de componentes de saída $y_0[n]$, $y_1[n]$, $y_2[n]$, etc. Estas componentes são então sintetizadas na forma do sinal de saída $y[n]$. Dessa forma o sinal de saída obtido é idêntico ao produzido pela passagem direta do sinal de entrada através do sistema. Os sinais de entrada e saída podem ser vistos como a soma de sinais mais simples.

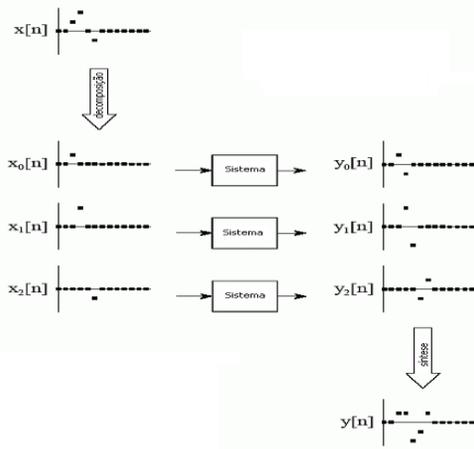


Figura.2. Decomposição do sinal
Fonte: Smith (1997)

Utilizando um sinal representado por suas funções de impulso aplicado a um dado sistema, este produz uma resposta que pode ser determinada pela soma ponderada das respostas individuais dos impulsos aplicados ao sistema.

$$\sum_k c_k \cdot \delta[n - k] \rightarrow \text{Sistema} \rightarrow \sum_k c_k \cdot h[n - k] \quad (4)$$

Onde: c_k é o número de impulsos aplicados ao sistema,
 $\delta[n-k]$ impulsos de entrada deslocados no tempo e
 $h[n-k]$ resposta impulsiva do sistema para cada impulso de entrada.

Assim a definição matemática de convolução é:

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n - k] \quad (5)$$

onde $x[n]$ é o sinal de entrada, $h[n]$ é a resposta impulsiva, e $y[n]$ é a saída. O símbolo $*$ indica a operação de convolução. Logo a convolução pode ser obtida pela soma dos resultados das operações de multiplicação dos termos $x[k]$ pelos termos $h[n]$ deslocados no tempo.

Neste artigo é apresentada a convolução aplicada à informação, organizada de forma matricial, e pode ser entendida como uma operação entre duas matrizes, geralmente bidimensionais, uma das quais é a matriz original e a outra é uma matriz de menor dimensão chamada de matriz de convolução ou núcleo de convolução.

O núcleo de convolução representa uma função matemática e é aplicada sobre cada elemento da matriz original $p(x,y)$ na sua vizinhança imediata, resultando em uma nova matriz $pc(x,y)$, que reflete a relação da matriz original com a função matemática dada pelo núcleo de convolução.

Pode-se considerar a convolução como a aplicação de uma máscara de resposta à matriz original de acordo com critérios

bem definidos. Na convolução temos dois componentes:

- Um ou mais núcleos de convolução $c_i(x,y)$
- A operação de convolução

Esse trabalho ainda está em fase de estudo e estão sendo testados vários filtros (matriz 3 x 3 e matriz 5 x 5). Os filtros correspondem a uma variedade de filtros direcionais simétricos onde as posições mais próximas do pixel central da matriz de convolução interferem no resultado com peso superior àqueles nas extremidades, ajustando as variações discretas do gradiente nas direções horizontal, vertical e diagonal [4].

A convolução sendo aplicada no seu modo mais simples tem como objetivo a identificação de pontos salientes que se destacam de seus vizinhos, não sendo necessariamente um valor alto do ponto de vista absoluto.

Máscara de detecção de pontos	Imagem	Máscara de resposta
$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 2 & 8 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -2 & -2 & -2 \\ -2 & 64 & -2 \\ -2 & -2 & -2 \end{bmatrix}$

(6)

IV. CONCEITOS DE MINERAÇÃO DE DADOS

Abordando pesquisas que tem como objetivo básico a identificação de padrões encontram-se estudos sobre Mineração de Dados ou Data Mining que tiveram origem em análise estatística na década de 60, os quais evoluíram, nos anos 80, para novas técnicas de inteligência artificial, tais como lógica fuzzy, redes neurais, árvores de decisão [7].

Mineração de dados, segundo [8], consiste em um conjunto de técnicas utilizadas na exploração de conjuntos de dados, normalmente mantidos em tabelas, formando um banco de dados. A mineração de dados tem como objetivo o descobrimento de relacionamentos complexos envolvendo conceitos, tais como: padrões, regras, fatos em dados armazenados.

Conforme [9], o processo de descoberta de conhecimento e mineração de dados (KDD, *Knowledge Discovery and Data Mining*), pode ser tratado em quatro etapas:

1. Seleção de dados: etapa para determinar o agrupamento de dados e atributos de interesse;
2. Limpeza dos dados: consiste na remoção de ruídos, na transformação de alguns campos e na criação de campos combinados;
3. Mineração dos dados: aplicação de algoritmos específicos para extrair padrões de interesse;
4. Avaliação: etapa em que os padrões descobertos são disponibilizados para os usuários em forma inteligível, facilitando a visualização.

Deve-se ressaltar que o conceito de padrão, segundo [9], é uma unidade de informação ou atributo de um registro que se repete, ou então é uma sequência de informações/atributos

presentes em uma estrutura que se repete.

Existem cinco tipos de técnicas [8], usadas para a Mineração de Dados:

1. Associações: que identificam afinidades entre um conjunto de dados em um grupo de registros; por exemplo: 72% de todos os registros que contêm itens A, B e C, também contêm itens D e E; dessa maneira, regras associativas procuram estabelecer ligações entre um elemento e outro;
2. Padrões Sequenciais: que identificam sequências de registros que ocorrem em decorrência de outros. Por exemplo: na ocorrência de um evento A, 32% dos clientes com determinadas características realizarão o evento B, em um determinado espaço de tempo;
3. Classificação: que divide as classes predefinidas, permitindo que registros de uma classe permaneçam próximos. Exemplificando: poderia haver classes de registros quanto à frequência do comparecimento de clientes em uma agência bancária: infrequentes (nunca frequentam a agência), frequentes (comparecem de modo frequente) e ocasionais (ocasionalmente frequentam a agência);
4. Agrupamento: a partir da base de dados, descobre classes ocultas, enquanto que a classificação já inicia com classes predefinidas;
5. Previsão: que tem como objetivo o cálculo de previsão do valor futuro de uma variável, como por exemplo, prever uma determinada projeção de vendas, considerando registros devidamente classificados.

V. RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Como colocado inicialmente esta pesquisa tem como objetivo utilizar técnicas adaptativas associadas ao processo de convolução aplicado a banco de dados para identificação de padrões.

Parte inicial desta seção deve ser expandido e utilizado como introdução do trabalho.

Conforme [5], o formalismo adaptativo se mostra uma opção a ser utilizada na aprendizagem computacional, destacando trabalhos realizados no reconhecimento de imagens e linguagens. Tratando o reconhecimento de padrões, [5] ainda destaca o reconhecimento óptico de caracteres (OCR), baseado em classes de técnicas de aprendizagem tais como: árvores de decisão, redes neurais artificiais, sentenças em lógica de predicados, conjunto de regras “se-então”, autômatos, redes *bayesianas* e memorização (*instance-based learning*). Com relação às regras “se-então”, pode-se entender como uma opção sem o domínio de conceitos complexos, permitindo uma maior transparência do modelo.

Uma proposta de trabalho com a utilização do conceito de adaptatividade no reconhecimento de padrões em uma base de dados é composta pelas seguintes etapas:

- a) a utilização da técnica de associação usada na

Mineração de dados;

definição de uma camada de convolução que aplicada gera o fator de ponderação, que determina o tipo de transformação aplicada na representação matricial.

Esta última camada será denominada Convolução adaptativa, pois apresentará seus fatores de ponderação de forma variável, havendo a possibilidade de inclusão ou exclusão de novos fatores de ponderação, alterando os coeficientes do núcleo de convolução face aos resultados obtidos.

VI. CONVOLUÇÃO ADAPTATIVA

Pesquisas já realizada comprovam que a adaptatividade refere-se a um conceito considerando a “experiência anterior” adquirida por um dispositivo adaptativo, baseado em um histórico de operações onde um sistema pode tomar a decisão de modificar seu comportamento [6].

O formalismo convolução adaptativa, aplicado na identificação de padrões, é definido a seguir:

Elementos do formalismo $ND = (C, NR, S, c_0, A, NA)$:

- ND – dispositivo descrito pelo conjunto de regras NR;
- C – Conjunto de configuração do Núcleo por tipo de aplicação (tipo de BD);
- NR – Núcleo de Convolução Inicial (Ni)
- Li – limiar de comparação para testar os resultados da primeira convolução entre a Matriz do Banco de Dados por Ni. Após a execução do procedimento Estratégico que converte a Base de dados - BD em Matriz do Banco de Dados;
- S – Tipo de Padrão a ser identificado com base no Limiar de Comparação - Li.
- $c_0 \in C$, como configuração inicial;
- $A \subseteq C$
- NA, com $\epsilon \in NA$ é um conjunto de todos símbolos possíveis de saída de AD.

O conjunto de regras são os índices (coeficientes) da expressão da convolução:

$$: \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k].h[n - k]$$

A estrutura da convolução adaptativa é construída conforme os procedimentos especificados a seguir na Figura 3:

A partir de um banco de dados organizado, tendo seus eventos associados às suas dimensões, é aplicada a mineração de dados associando fatos, considerando o limiar inicial, fornecido pelo decisor. O limiar deve ser entendido como suporte mínimo descrito anteriormente.

O passo seguinte é montar uma matriz, baseada na classificação dos eventos.

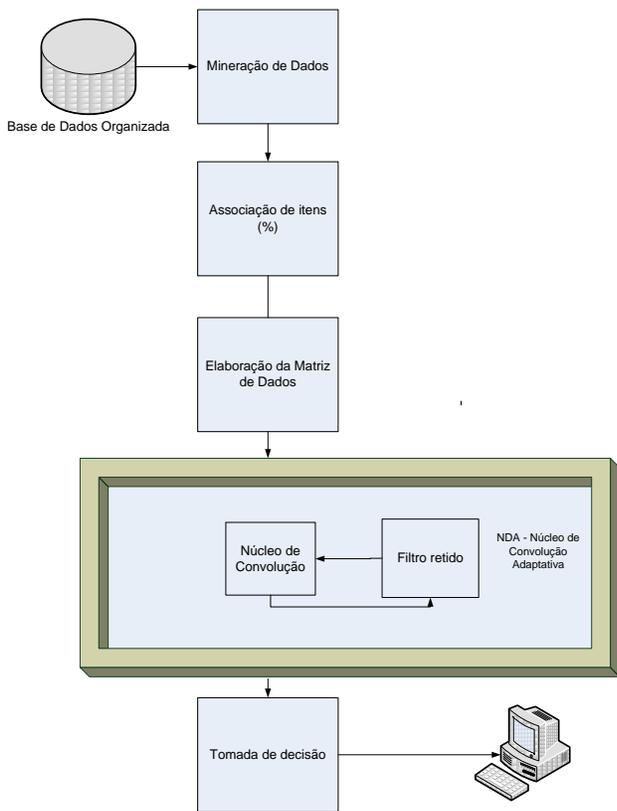


Figura.3. Modelo do Estudo

Sobre a matriz de dados é aplicado o núcleo inicial, definido pela transformada de Laplace, conforme [1].

Baseado no cálculo da convolução o resultado é comparado com o limiar inicial. Se resultado da convolução for menor que o limiar inicial, é alterado o valor central do núcleo. Caso o resultado da convolução seja maior ou igual, é verificada a existência de filtros já utilizados e válidos, no caso de não existir é criado um novo núcleo.

O resultado é apresentado de forma gráfica identificando regiões e padrões a serem interpretados por um decisor (especialista). Sendo o núcleo analisado e validado, é armazenado para uso futuro.

O estudo exploratório, para implementação do modelo de convolução adaptativa sobre a matriz de dados, estão em andamento, bem como análise do comportamento do algoritmo.

Na Figura. 4 é apresentada uma etapa dos estudos exploratório.

Como modelo hipotético de aplicação da técnica adaptativa proposta foi utilizada uma Matriz de Transição 100 x 100 com números aleatórios, simulando a obtenção dos dados originados em um banco de dados, contendo informações sobre o consumo em um supermercado.

Essa Matriz foi criada de forma idealizada contendo grandes grupos de consumo.

A matriz foi convertida para leitura no Excel com arquivo denominado PNA.xls, gerada a partir do banco de dados. Os valores dos elementos da matriz foram tratados como elementos de imagem (pixels). Dessa forma tornou-se possível visualizar o referido banco de dados como uma imagem, a Figura. 4 apresenta essa visualização.

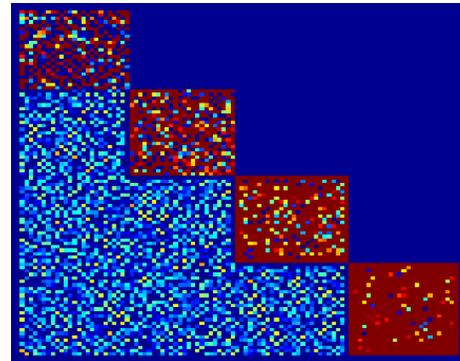


Figura. 4 - Planilha Convertida – Matriz PNA – Bidimensional

A seguir foi criado o Núcleo Inicial – Ni, com base na definição pela transformada de Laplace, conforme [1]:

Ni =

0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0
0	-1	5	-1	0
0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0

Com a aplicação do Núcleo Inicial na Matriz de dados foi obtido o resultado em imagem conforme Figura 5 Bidimensional e Figura 6 Tridimensional.

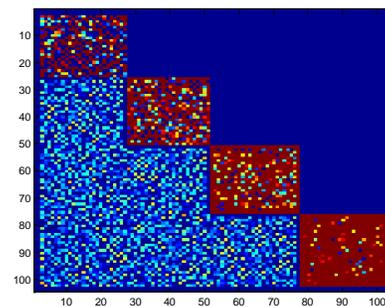


Figura. 5 – Resultado Bidimensional da Convolução

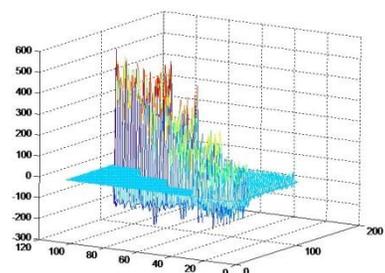


Figura. 6 – Resultado Tridimensional da Convolução

Realizando alterações no Núcleo de Convolução, observa-se alteração do comportamento dos padrões identificados:

Para o Núcleo N1 onde

$$N_{i(3,3)} = 9$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 9 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tem-se então o seguinte resultado conforme Figura 7, bidimensional e Figura 8 tridimensional :

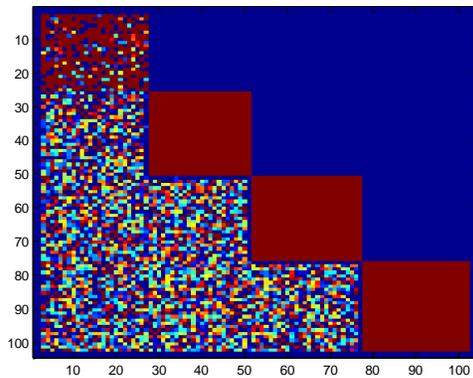


Figura 7 - Resultado bidimensional Núcleo N1

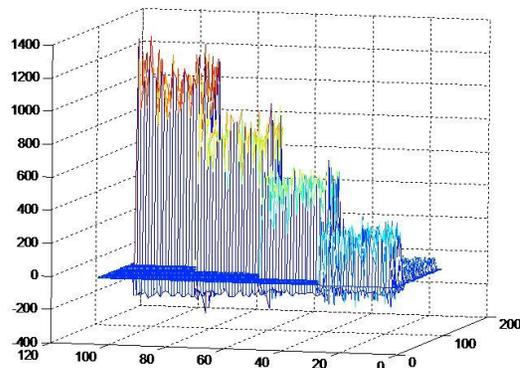


Figura 8 – Resultado Tridimensional Núcleo N1

Pelos experimentos realizados podem-se notar as representações gráficas da convolução, aplicada à Matriz de transição. Comparando os resultados obtidos com a aplicação dos dois diferentes núcleos (N_i e N_1) de convolução pode-se perceber que N_1 , já permite a identificação de regiões no banco de dados com padrões específicos (retângulos marrons na figura 7), comprovando a efetividade da ferramenta proposta.

A continuidade dos experimentos permitirá a comparação de novos resultados da aplicação da convolução com níveis pré-estabelecidos que indicarão a necessidade da utilização de

novos núcleos, tal que novos coeficientes sejam gerados demonstrando a adaptatividade do algoritmo.

VII. CONCLUSÃO

Neste artigo são apresentados mecanismos adaptativos de identificação de padrões, objetivando a criação de um aplicativo baseado nos conceitos da convolução associado a conceitos de Adaptatividade, essa é uma proposta para criar um dispositivo adaptativo para aplicação em caráter genérico em processos de tomada de decisão [2].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gonzalez, Rafael C; Woods, Richard E. Processamento Digital de Imagens – Ed. Edgard Blücher Ltda., 2000.
- [2] O'BRIEN, J. A. *Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet*. 2ed. Saraiva, São Paulo, 2004.
- [3] NETO, J. J., *Adaptive Rule-Driven Devices - General Formulation and Case Study*. Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001, Vol. 2494, Pretoria, South Africa, July 23-25, Springer-Verlag, 2001, pp. 234-250.
- [4] HU, Osvaldo; RAUNHEITTE, Luís, *Processamento e Compressão Digital de Imagens*. Editora Mackenzie, São Paulo, 2004.
- [5] PISTORI, H. *Tecnologia Adaptativa em Engenharia de Computação: Estado da Arte e Aplicações*. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da USP, 2003.
- [6] NETO, J.J., *Um Levantamento da Evolução da Adaptatividade e da Tecnologia Adaptativa*. IEEE Latin America Transactions, Vol. 5, No. 7, Nov. 2007.
- [7] Kimbal, R., *The Data Warehouse Toolkit*. 2ª Ed. Wiley Computer Publishing, USA, 2002.
- [8] Moxon, B (1998). *Defining Data Mining-DBMS, Data Warehouse Supplement*, Aug.1996. [HTTP://:dbmsmag.com/9608d53.html](http://dbmsmag.com/9608d53.html) (30.Out.2008).
- [9] RAMAKRISHNAN, R. *Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados*. 3ª Ed. McGraw-Hill, São Paulo, 2008.

Rubens de Camargo é bacharel em Administração de Empresas, com especialização em Análise de Sistemas pela Faculdade Associadas de São Paulo e mestre em Administração de Empresas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Atualmente é professor de cursos de graduação na Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie. É Doutorando do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Luís Tadeu Mendes Raunheitte é Engenheiro Eletrônico pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela mesma Universidade. Atualmente é professor de cursos de graduação na Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie.