

ROBSON JOSÉ DE OLIVEIRA

**USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE
ESTRADAS FLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Doctor *Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

O48u
2008

Oliveira, Robson José de, 1976-

Uso de redes neurais artificiais na avaliação funcional de estradas florestais / Robson José de Oliveira. – Viçosa, MG, 2008.

xvi, 90f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Carlos Cardoso Machado.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-75.

1. Estradas florestais - Projetos e construção. 2. Estradas florestais - Manutenção. 3. Estradas florestais - Previsão - Defeitos. 4. Redes neurais (Computação). 5. Transporte rodoviário. 6. Processo decisório por critério múltiplo.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 634.93836

ROBSON JOSÉ DE OLIVEIRA

**USO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE
ESTRADAS FLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2008.



Prof. Carlos Alexandre Braz de
Carvalho
(Co-orientador)



Prof. Cleverson de Mello Sant'Anna



Prof. Hélio Garcia Leite



Prof. Reginaldo Sérgio Pereira



Prof. Carlos Cardoso Machado
(Orientador)

À Deus...

Aos meus pais e familiares.

À minha esposa Sueli.

Ao meu filho Matheus.

In memoriam: meu filho e anjo Rafael.

Aos meus amigos.

Pelo apoio, incentivo e amizade,

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação.

A Deus pelo milagre e mistério da vida.

Em especial, ao professor Carlos Cardoso Machado, orientador deste trabalho, pessoa por quem cultivo grande respeito e admiração, pela oportunidade de trabalharmos juntos e pelas lições de vida.

Aos professores Carlos Alexandre Braz de Carvalho e Dario Cardoso de Lima, do Departamento de Engenharia Civil, pela amizade, apoio, incentivo e contribuição.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo companheirismo e ensinamentos, pela convivência e sugestões para o engrandecimento de minha pessoa e do meu trabalho.

Aos professores Cleverson de Mello Sant'Anna, Elias Silva, Helio Garcia Leite, José Carlos Ribeiro, José Marinaldo Gleriani, Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Márcio Lopes da Silva e Renato Sebastião Valverde do Departamento de Engenharia Florestal pelo carinho, orientações, dedicação e amizade nos momentos difíceis da vida.

Aos professores Luis Carlos de Freitas e Taciano Oliveira da Silva da UESB; Marcio Leles Romarco de Oliveira e Thelma Shirlen Soares da UFVJM; Reginaldo Sérgio Pereira da Unb, pela confiança, pelos conselhos e pelas palavras de conforto e tranquilidade nos momentos de angústia e de dor.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal em especial ao senhor Adão, Antônio, Carlos Tadeu de Freitas, Francisco Bezerra, Francisco Chagas Rodrigues, Francisco Luis da Silva, Frederico Luis Ribeiro Fontes, Geraldo Machado, Jamile Abdoul, José Mauro Gomes, Paulo e Rita de Cássia pelos momentos alegres e tristes juntos nessa caminhada.

Aos amigos Adão Vitório de Castro, Alfredo Santos Araújo Alves, Antônio Pereira, Dora Alice Cardoso, Geraldo Magela, José Clévio Dias Casali, Lindsay Teixeira Sant'Anna e Naysi Silva pelos momentos de amizade, lazer, atenção e ensinamentos.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Aos amigos e Engenheiros Florestais Catarina Mori da Cunha, Giovani Levi Sant'Anna, Marcelo Lelis de Oliveira e Marco Antônio Amaro; Engenheiros Civis André, Thiago Pinto da Trindade e Flávio Crispim que com competência, carinho, amizade e boa vontade, sempre trouxeram novas e valiosas informações auxiliando-me na busca de soluções para as dúvidas que surgiam durante o desenvolvimento deste trabalho.

A aluna de Engenharia Florestal Laura Carine Pereira Ribeiro e Agrônoma Priscila Francelle Ribeiro Fontes da UFV pelas contribuições ao longo deste trabalho.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, Aparecida e Vicente, irmão Ranieri, cunhada Cecília, sobrinho Lucas, à minha esposa Sueli e meu filho Matheus, que são as razões de minha existência, muito obrigado pelo carinho, amor, pela paciência, pelo incentivo na realização deste trabalho e pela confiança a mim depositada.

A todos aqueles funcionários, professores e alunos da UFV que direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação.

Agradecer é um privilégio, afinal se agradecemos é porque vivemos bons momentos e aquilo por que passamos valeu a pena e nos fez crescer. Dessa forma, deixo aqui meus agradecimentos:

“Não se compreende todo o caminho num grande e único passo: novas estradas se abrem quando se persiste no caminhar”. (Danilo gandin).

BIOGRAFIA

ROBSON JOSÉ DE OLIVEIRA, filho de Vicente Rodrigues de Oliveira e Maria Aparecida Ribeiro de Oliveira, nasceu na cidade do Rio de Janeiro, no dia 18 de março de 1976.

Em 1992, concluiu o Curso Técnico em Enfermagem no Colégio CENI, Centro Educacional de Nova Iguaçu na cidade de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

Em maio de 2002, diplomou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em agosto de 2002, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal, no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em Agosto de 2004, obtendo o título de “*Magister Scientiae*”.

Em agosto de 2004, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em nível de doutorado, em Ciência Florestal, no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em Agosto de 2008, obtendo o título de “*Doctor Scientiae*”.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	1
1.2. Problema e sua importância	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo geral	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Hipótese.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Estradas florestais	4
2.1.1. Conceitos e características	4
2.1.2. Defeitos	5
2.1.2.1. Buracos ou panelas.....	9
2.1.2.2. Corrugações ou ondulações.....	9
2.1.2.3. Segregação de agregados	10
2.1.2.4. Poeira	10
2.1.2.5. Seção transversal inadequada	11
2.1.2.6. Trilha de roda	12
2.1.2.7. Drenagem lateral inadequada	13
2.1.3. Manutenção	13
2.1.3.1. Importância.....	14
2.1.3.2. Técnicas	14
2.1.4. Métodos de avaliação de estradas não pavimentadas	16

2.1.4.1. Índice de condição.....	16
2.1.4.2. Método proposto por VISSER e HUDSON	17
2.1.4.3. Avaliação subjetiva de RIVERSON	17
2.1.4.4. Avaliação objetiva de EATON	18
2.1.4.5. Método de ALYNOMO.....	18
2.1.4.6. Manual de avaliação e classificação da superfície de pavimento de cascalho.....	21
2.1.4.7. Levantamento da condição da estrada e inspeção visual	22
2.1.4.8. Índice de condição de estrada de terra.....	22
2.1.4.9. Avaliação pelo sistema de gerenciamento da superfície da estrada	23
2.1.4.10. Avaliação subjetiva proposta por VISSER.....	24
2.2. Redes neurais.....	24
2.2.1. Neurônio biológico.....	24
2.2.2. Redes neurais artificiais (RNA's).....	26
2.2.3. Histórico	27
2.2.4. Definições	28
2.2.5. Função de ativação.....	29
2.2.6. Arquitetura de redes.....	30
2.2.7. Processos de aprendizagem.....	31
2.2.7.1. Paradigmas de treinamento.....	31
2.2.7.2. Regras ou algoritmos de aprendizagem.....	31
2.2.8. Uso do RNA em rodovias.....	32
2.3. Sistemas de gestão de pavimentos (SGP)	33
2.3.1. Níveis de gestão.....	35
2.3.1.1. SGP em nível de rede	36
2.3.1.2. SGP em nível de projeto.....	40
2.3.2. Custo/benefício	41
3. METODOLOGIA.....	43
3.1. Coleta de dados.....	43
3.2. Primeiro procedimento.....	43
3.2.1. Método objetivo - ICRNP.....	44
3.2.1.1. Buracos ou panelas.....	46
3.2.1.2. Corrugações ou ondulações.....	47
3.2.1.3. Segregação de agregados	47
3.2.1.4. Poeira	47
3.2.1.5. Seção transversal inadequada	48
3.2.1.6. Trilha de roda	48
3.2.1.7. Drenagem lateral inadequada	48
3.2.2. Método subjetivo – MACSPC.....	49
3.2.3. Técnica de análise de processo hierárquico (AHP).....	51
3.3. Segundo procedimento.....	53
3.3.1. Ordenação das variáveis de entrada e saída.....	53
3.3.2. Definição de topologias e parâmetros para as Redes Neurais Artificiais.....	54
3.4. Estudo de Caso	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1. Análise de processo hierárquico	56
4.2. ICRNP encontrado x ICRNP ideal	59

4.3. Resultados dos métodos GPM X ICRNP X RNA	60
4.4. Classificação das estradas em função da trafegabilidade	66
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
Anexos	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista de uma estrada florestal	5
Figura 2 – Corrugação ou “costela de vaca”	10
Figura 3 – Segregação e perda de agregados	10
Figura 4 – Poeira após passagem de um veículo	11
Figura 5 – Seção transversal inadequada	12
Figura 6 – Trilha de roda	12
Figura 7 – Drenagem ineficiente no período de seca e chuva respectivamente	13
Figura 8 – Esquema dos constituintes da célula animal	26
Figura 9 – Função de transferência sigmoide	30
Figura 10 – Ilustrações de medição de Buracos	47
Figura 11 – Variação do ICRNP e GPM em função das unidades trabalhadas (Empresa A)	62
Figura 12 – Variação do ICRNP e GPM em função das unidades trabalhadas (Empresa B)	63
Figura 13 – Variação do ICRNP e RNA em função das unidades trabalhadas (Empresa A)	64
Figura 14 – Variação do ICRNP e RNA em função das unidades trabalhadas (Empresa B)	65
Figura 15 – Classificação das estradas pelo método GPM	66

Figura 16 – Classificação das estradas pelo método ICRNP	66
Figura 17 – Classificação das estradas pelo método RNA	67
Figura 18 – Valores dedutíveis da seção transversal imprópria	77
Figura 19 – Valores dedutíveis da drenagem lateral inadequada	77
Figura 20 – Valores dedutíveis da corrugação	78
Figura 21 – Valores dedutíveis do buraco	78
Figura 22 – Valores dedutíveis da perda de agregados	79
Figura 23 – Valores dedutíveis da trilha de roda	79
Figura 24 – ICRNP seguindo os valores dedutíveis totais	80
Figura 25 – Ambiente de trabalho inicial do programa SNNS	84
Figura 26 – Algoritmo de treinamento para que a rede aprenda e possa modelar os dados	85
Figura 27 – Determina os arquivos de treinamento e validação para reconhecimento das características de cada defeito	85
Figura 28 – Interface ilustrando os dados de entrada no programa SNNS	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores de k (coeficientes para correção)	45
Quadro 2 – Classificação dos trechos da estrada segundo ICRNP	45
Quadro 3 – Classificação das estradas em função do volume médio diário de tráfego	46
Quadro 4 – Níveis de severidade para o defeito do tipo buraco	46
Quadro 5 – GPM - Classificação: Excelente – Nota: 5	49
Quadro 6 – GPM - Classificação: Bom – Nota: 4	50
Quadro 7 – GPM - Classificação: Regular – Nota: 3	50
Quadro 8 – GPM - Classificação: Ruim – Nota: 2	51
Quadro 9 – GPM - Classificação: Péssimo – Nota: 1	51
Quadro 10 – Escala de Valores AHP para Comparação Pareada	52
Quadro 11 – Resultados da análise de processo hierárquico	56
Quadro 12 – ICRNP encontrados nas estradas florestais das empresas	59

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANN'S - Artificial Neural Nets.

bu - buraco.

dli - drenagem lateral inadequada.

co - corrugação.

DER-SP – Departamento de estradas e rodagem do estado de São Paulo.

DSRZT - densidade superficial relativa por zona topográfica.

DVI - Detailed Visual Inspection.

EDVAC - Eletronic Discrete Variable Automatic Computer.

ENIAC - Eletronic Numerical Integrator and Computer.

ERCI - Earth Road Condition Index.

GPM - Gravel Paver Manual.

GSID - Grau de Severidade Individual do Defeito.

ICRNP - Índice de Condição de Rodovia Não Pavimentada.

ISRZT - Índice de Severidade Relativa por Zona Topográfica.

MACSPC - Manual de Avaliação e Classificação da Superfície de Pavimento de Cascalho.

MCT - Miniatura Compactado Tropical.

MDD - Modelo Digital dos Defeitos.

MDS - Maintenance and Design System for Unpaved Roads.

MDT - Modelo Digital do Terreno.

OECD - Organization for Economic Co-Operation and Development.
pa - perda de agregado.
Pci - Pavement Condition Indicator.
po - poeira.
RCS - Road Condition Survey.
RNA'S - Redes Neurais Artificiais.
RSMS - Road Surface Management System.
SMZT - Severidade Média por Zona Topográfica.
SNNS - Stuttgart Neural Network Simulator.
sti - seção transversal imprópria.
tr - trilha de roda.
USACE - United States Army Corps of Engineers.
VMD - Volume Médio Diário.
ZG - Zonas Geotécnicas.
ZT - Zonas Topográficas.

RESUMO

OLIVEIRA, Robson José de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2008. **Uso de Redes Neurais Artificiais na Avaliação Funcional de Estradas Florestais.** Orientador: Carlos Cardoso Machado. Co-orientadores: Carlos Alexandre Braz de Carvalho e José Marinaldo Gleriani.

Esse trabalho apresenta resultados de classificação de estradas não pavimentadas obtidos através de mensurações de defeitos em estradas florestais de duas empresas brasileiras, com a utilização do método do *Índice de Condição de Rodovia Não Pavimentada (ICRNP)*, comparando-se estes com outros dados obtidos com o emprego de um procedimento subjetivo denominado *Manual de Avaliação e Classificação da Superfície de Pavimento de Cascalho (MACSPC)*. Os resultados obtidos serviram para a geração de um banco de dados, que foi empregado como base de entrada em um sistema de redes neurais artificiais, com o objetivo de testar a eficiência deste sistema para tornar mais rápida a recuperação das estradas florestais, minimizando custos de transporte e paralisação de tráfego. Realizou-se uma análise de processo hierárquico, concluindo-se que os parâmetros de estradas florestais mais significativos são seção transversal imprópria e drenagem lateral inadequada, que juntos representam 64% dos problemas detectados. A utilização das redes neurais artificiais apresentou resultados superiores aos outros dois métodos empregados, haja vista que 32,50% das unidades amostrais foram

classificadas como excelentes pelo método subjetivo (MACSPC), 6,25% pelo método objetivo (ICRNP) e 0% com o uso das redes neurais artificiais.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Robson José de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2008. **Use of Neural Artificial Nets in the functional Evaluation of Forests Roads.** Adviser: Carlos Cardoso Machado. Co-adviseres: Carlos Alexandre Braz de Carvalho and José Marinaldo Gleriani.

This work presents classification data of non-paved roads gotten through measurements of defects in forest roads from two Brazilian companies, with the use of the method named *Unsurfaced Road Condition Index* (URCI), comparing these with other data gotten using a subjective procedure, called *Gravel Paver Manual* (GPM). These field data were used in an artificial neural nets system, in order to test its efficiency in speeding forest roads management and recovery, minimizing transport costs and traffic stoppage. An analysis of hierarchic process was applied to the analysis, concluding that the more significant parameters of forest roads were improper transversal section and inadequate lateral draining which together represented 64% of their detected defects. The use of neural artificial nets presented results superior to the others two methods, considering that 32.50% of the units was classified as excellent by the subjective method (GPM), 6.25% by the objective method (URCI) and 0% with the use of neural artificial nets.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A infra-estrutura das estradas, dos transportes e da comunicação são os fatores dinamizadores da expansão das atividades econômicas de qualquer país sendo, por isso, de grande importância para a redução da pobreza absoluta. A enorme e crescente participação da malha rodoviária brasileira no contexto político, econômico e social está diretamente associada ao fato do transporte ser reconhecido como um fator estratégico para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. Sabe-se que dentre as várias modalidades, o transporte rodoviário é a que apresenta o menor investimento de capital na aquisição da frota sendo, por isso, o mais utilizado no Brasil. Esse predomínio se deve, entre outros, aos baixos preços praticados, à pequena extensão da malha rodoviária e à precariedade na qual se encontra e, também, a subutilização do potencial navegável dos rios (MACHADO e MALINOVSKI, 1986).

Segundo a literatura, o Brasil ainda vai conviver com a predominância do modal rodoviário por vários anos o que torna necessário e urgente o desenvolvimento de alternativas viáveis que minimizem os estrangulamentos físicos causados pelas condições insatisfatórias em que se encontra a malha rodoviária brasileira que acaba por afetar, diretamente, a competitividade das

exportações e o abastecimento interno, além de impedir o crescimento do mercado nacional. O Brasil dispõe de, aproximadamente, 89% de toda malha rodoviária nacional composta de estradas vicinais das quais, 98% não são pavimentadas. Essas estradas têm uma importância vital uma vez que estabelecem a ligação entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas por onde circulam as mercadorias até o seu destino final. Devido a grande importância econômica e social torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas visando encontrar alternativas que auxiliem a manutenção e reabilitação dessas rodovias com o emprego racional dos recursos técnicos e financeiros disponíveis advindos da infra-estrutura de transportes (OLIVEIRA et al., 2007).

1.2. Problema e sua importância

A manutenção da trafegabilidade, durante todo o ano, das estradas não-pavimentadas no Brasil a custos viáveis deve levar em consideração a grande extensão dessa malha viária, suas precárias condições técnicas, devido à falta de manutenção regular e preventiva, e a escassez de recursos técnico-financeiros. Hoje, têm-se lançado mão de soluções emergenciais que acabam por apresentar características técnicas ruins e que ao serem associadas às condições adversas impedem a livre trafegabilidade acarretando, assim, prejuízos econômicos e sociais irreversíveis (NUNES, 2003).

Como provável solução vem sendo estudada uma alternativa que diz respeito à aplicação de um sistema de gestão de pavimentos de estradas florestais, com base em redes neurais artificiais (RNA's), que leve em consideração a realidade de cada local estudado gerando dados que permitam análises capazes de antever os tipos de defeitos decorrentes da reunião de vários atributos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é mostrar que é possível utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais (RNA's), como ferramenta de previsão de defeitos em estradas florestais. Buscou-se, aqui, a identificação dos defeitos e suas severidades a fim de subsidiar as atividades de um sistema de gestão, em especial, o processo de tomada de decisão quanto à alocação dos recursos financeiros disponíveis para as intervenções necessárias com vistas a preservar as boas condições de serventia das estradas não pavimentadas.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Avaliar o método de gestão de pavimentos de estradas florestais com base em redes neurais artificiais;

- b) Utilizar as técnicas de RNA's para melhorar a qualidade da tomada de decisão nas atividades de manutenção de estradas florestais.

1.4. Hipótese

Hipótese: A técnica das Redes Neurais Artificiais é uma ferramenta confiável na previsão de defeitos em estradas florestais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estradas florestais

2.1.1. Conceitos e características

As estradas florestais são as mais importantes vias de acesso às florestas, servindo para viabilizar o tráfego de mão-de-obra e os meios de produção, necessários para implantação, proteção, colheita e transporte da madeira e, ou, produtos florestais. Normalmente, as estradas têm como principal característica um tráfego reduzido, às vezes temporário, mas de elevado peso, ocorrendo normalmente em um único sentido (MACHADO, 1989). A partir do exposto, percebe-se a prioridade de manter essas estradas trafegáveis durante todo o ano, tendo o momento exato para entrar com intervenção para melhorias através da implantação de um sistema de gestão.

A extensão da malha rodoviária florestal vem aumentando consideravelmente com o decorrer das novas ampliações das empresas florestais. Também, aumentaram nos últimos anos as exigências em termos de solicitações dessas estradas, devido ao crescimento do volume de tráfego de veículos pesados e extrapesados; aumento das distâncias de transporte em rodovias de baixa qualidade; necessidade de trafegabilidade durante todo o

ano com eficiência, conforto e segurança; e necessidade de estradas com maior vida útil (FERNANDES, 2000).

O setor de estradas florestais tem ganhado destaque, uma vez que os custos com estrada e transporte incidem significativamente sobre o valor final da madeira. Essa importância sócio-econômica fica evidente com o desenvolvimento de estudos sobre Gestão de Pavimentos através da análise dos parâmetros de qualidade da rodovia e dos parâmetros que afetam o desempenho dos veículos e, conseqüentemente, os custos de transporte.

A maior parte das estradas como a ilustrada na Figura 1, está desprovida de estudos sobre manutenção e recuperação, ou seja, de gestão, o que se deve, em grande parte, à falta de recursos financeiros destinados a toda malha rodoviária e à falta de mão-de-obra especializada. Muitos dos traçados dessas estradas não obedecem a nenhuma norma para projeto geométrico, acompanhando, simplesmente, a topografia natural do terreno principalmente no sentido longitudinal apresentando uma vida útil de 1 a 2 anos e, ao sofrerem a ação conjunta de vários fatores dificulta a sua inclusão em um Sistema de gestão para estradas florestais (VIVIANI, 1998).

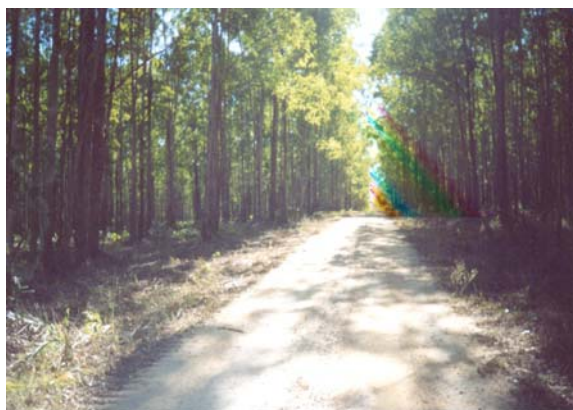


Figura 1 – Vista de uma estrada florestal.

2.1.2. Defeitos

Um defeito é qualquer alteração na superfície da estrada que influencie negativamente as suas condições de rolamento, sendo que o estado de conservação de uma estrada depende da geometria horizontal e vertical, das características dos materiais, das intempéries, do tráfego e das práticas de

manutenção e reabilitação. Uma boa estrada deve ter largura suficiente para acomodar o tráfego e capacidade de suportar as cargas das rodas dos veículos ao longo do tempo e sob diferentes condições climáticas. Deve, também, apresentar um bom sistema de drenagem para evitar, dentre outros, problemas de erosão ou perda de capacidade de suporte (ODA et al., 1996).

Defeitos são alterações ao longo das estradas que são classificadas em níveis de severidade variando em conformidade com a sua influência na trafegabilidade. Segundo Nunes (2003) defeito pode ser definido como:

Qualquer evidência visível de falhas ou descontinuidades na superfície de rolamento da estrada que afeta a sua capacidade estrutural, aparência ou a qualidade de movimento dos veículos.

Estes defeitos criam irregularidades na superfície de rolamento provocando desconfortos, que variam em função do nível da severidade, levando a uma diminuição da velocidade de operação, aumento do custo operacional dos veículos, além de colocar em risco a segurança dos usuários das vias (MUTTI, 2004).

O surgimento de um determinado tipo de defeito muitas vezes está associado a um estágio avançado de um outro tipo de defeito; o que demonstra o grande inter-relacionamento entre os diversos tipos de defeitos observados nos pavimentos em geral. Assim sendo, observa-se que a análise dos defeitos é bastante complexa com um número praticamente ilimitado de possibilidades de relacionamento entre causa, ocorrência e evolução (VILLIBOR et al., 1994).

Á dificuldade ou ao volume de dificuldades que um determinado tipo de defeito impõe ao tráfego de veículos indica os níveis de severidade de um defeito (DARONCHO, 2001)..

A ausência de uma camada de proteção superficial é uma das características mais marcantes das rodovias vicinais no Brasil. Na estação seca, essas estradas tornam-se poeirentas e muitas vezes onduladas; já nas épocas de chuvas, tornam-se intransitáveis impossibilitando o transporte. A maneira primária encontrada de resolver este problema foi revestir o leito das

estradas, de modo a permitir o tráfego mesmo nas estações de chuvas (FERNANDES, 2000).

Segundo Senço (1997) a concepção inicialmente empregada na construção rodoviária baseava-se em constatações de natureza prática de grande simplicidade. Se os terrenos arenosos ofereciam boas condições de tráfego nas estações de chuvas e se os terrenos argilosos, ao contrário, ofereciam boas condições de tráfego no período de seca, tentava-se então conseguir uma estabilização, misturando areias e argilas em proporções tais que as argilas minimizassem o aparecimento de poeira nos terrenos arenosos, nas secas, e as areias evitassem o aparecimento de lama nos terrenos argilosos, nas chuvas.

Santos et al., (1988) cita que as estradas não-pavimentadas apresentam sua superfície exposta e com isso estão sujeitas a um processo contínuo de deterioração e o estado em que se encontra a superfície da estrada está intimamente ligada ao tipo de solo, da capacidade de suporte, das solicitações do tráfego, das condições climáticas, dos dispositivos de drenagem presentes, da geometria da estrada e das atividades de manutenção e reabilitação correntemente utilizadas. Abaixo são descritos alguns problemas em estradas vicinais:

Capacidade de suporte - é a característica que confere à estrada uma capacidade maior ou menor de não se deformar frente às solicitações de tráfego. As deformações típicas devido à sua ausência são as ondulações transversais e formação de rodeiros. Geralmente as estradas nessas condições tendem a apresentar formação de lama por ocasião de chuvas mais intensas. Os problemas típicos devido à falta de capacidade de suporte devem-se à deficiência técnica localizadas no subleito, ou seja, no terreno natural sobre o qual está implantada a estrada, ou na camada de reforço que é a camada utilizada para melhorar o subleito, ou em ambos (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Condições de rolamento - são às irregularidades da pista que interferem negativamente sobre a comodidade e segurança do tráfego, como a aderência que é uma característica da pista relacionada com as boas ou más condições de atrito. Em uma pista com boa aderência não ocorre “patinação” das rodas dos veículos. Os problemas mais típicos ligados às más condições de

rolamento e aderência se localizam quase que exclusivamente na camada de revestimento, e são os seguintes: esburacamento generalizado, materiais granulares soltos, pista escorregadia, entre outros (SANTOS et al., 1988).

Sistema de drenagem – é o conjunto de obras que visa retirar a água da estrada e em alguns casos estes sistemas são falhos ou até mesmo inexistentes. Em muitos casos ocorrem, após serviços de conservação baseados em uma patrolagem sistemática, a remoção do solo mais resistente e compactado o que acaba por expor os solos menos resistentes à ação das intempéries. Tem-se ainda, de forma praticamente irreversível, uma estrada encaixada que inviabiliza a implantação de saídas laterais de drenagem.

Pode-se dizer que a drenagem se propõe aos seguintes objetivos: diminuir a quantidade de água conduzida através da estrada, por meio de obras, tais como, canaletas de crista em cortes, saídas laterais (“sangras”), bueiros, passagens abertas, entre outros.

Os enormes poderes destrutivos das águas sobre as estradas de terra dão às obras de drenagem um papel fundamental ao proteger a pista de rolamento impedindo que as águas corram diretamente sobre ela. Este objetivo é normalmente cumprido com o abaulamento transversal da pista e a concomitante proteção das laterais.

Para a execução de levantamento em campo dos vários tipos de defeitos pode-se utilizar um procedimento simples que trata-se do registro da ocorrência ou não de defeitos, suas extensões e níveis de intensidade. Assim, pode-se avaliar a incidência percentual em extensão de cada ocorrência e sua respectiva intensidade em relação à extensão total do pavimento analisado.

Conforme Oda (1995), em estradas os defeitos mais comuns são:

- solo arenoso: corrugação, areiões, buracos (em trechos planos) e problemas de erosão (em trechos com rampas acentuadas, maiores que 8%).

- solo argiloso: atoleiros (em trechos planos ou fundos de vale) e problemas de pista escorregadia, em épocas de chuvas; a poeira e a segregação de agregados em épocas de seca.

Os tipos de defeitos e as respectivas classificações dos seus graus de severidade estudados nesse trabalho são baseados nos métodos de avaliação

de estradas não pavimentadas contidos nos trabalhos de Eaton et al. (1992), Usace (1995) e Oda (1995), que foram adaptados com algumas observações pertinentes apresentadas por Fontenele (2001), e são os seguintes:

2.1.2.1. Buracos ou panelas

São defeitos definidos como depressões da superfície estradal. Originam-se da contínua expulsão de partículas sólidas do leito, quando da passagem de veículos, em locais onde há empoçamento de água. Ocorrem, geralmente, em trechos planos, que não apresentam uma declividade transversal adequada, nem saídas laterais de drenagem. O aparecimento de buracos é um sintoma de uma plataforma mal drenada, provavelmente sem abaulamento transversal, e/ou a inexistência de tratamento primário, ou então deficiência do componente do ligante (argila), do próprio tratamento primário. A correção destes problemas deve começar pela drenagem das águas da plataforma através do abaulamento transversal, valetas e sangras. Os buracos isolados devem ser tapados. A execução de serviços de retificação, limpeza e umedecimento e compactação em camadas com material usado para revestimento primário é recomendável. A quantidade de material perdida é calculada medindo-se o diâmetro médio e a profundidade máxima do buraco (SANTOS et al., 1988).

2.1.2.2. Corrugações ou ondulações

É um problema conhecido também como costela-de-vaca, e caracterizam-se pela presença de ondulações perpendiculares ao sentido do tráfego são resultantes de um movimento vibratório transmitido pelo tráfego à superfície de rolamento como ilustrado na Figura 2. A manutenção irregular dos trechos pode levar a um tipo de corrugação denominado de regular. Esses defeitos são medidos em função de áreas delimitadas medindo-se a largura da estrada e o comprimento linear de 4 metros. Apresentam níveis de severidade baixo, médio e alto. A corrugação causa grande desconforto para os usuários dos veículos de transporte. A utilização de estabilizantes químicos tem surgido como uma possibilidade de resolver esse problema (SANTOS et al., 1988).



Figura 2 – Corrugação ou “costela-de-vaca”.

Fonte: (MOREIRA, 2003).

2.1.2.3. Segregação de agregados

É um tipo de defeito que tem como causa a ação contínua e abrasiva do tráfego, onde os materiais granulares desagregam-se sob a tração dos pneus sendo lançados para as bordas, para o centro do corpo estradal ou na área menos trafegável como na Figura 3 gerando bermas que são intervalos entre uma inclinação e outra nos taludes das estradas garantindo maior estabilidade ao talude (como degraus), que devem ser medidas separadamente em função de áreas delimitadas pela largura da estrada e o comprimento linear de 4 metros (SANTOS et al., 1988).



Figura 3 – Segregação e perda de agregados.

Fonte: (MOREIRA, 2003).

2.1.2.4. Poeira

É um defeito de ocorrência muito comum em estradas florestais. A presença de materiais finos e soltos na superfície de rolamento, em épocas secas, forma devido à ação do tráfego, nuvens de pó ou poeira que dificultam a

visibilidade e causam aumentos nos custos operacionais dos veículos devido às constantes limpezas de seus componentes. A poeira consiste na formação de uma nuvem de material fino quando da passagem dos veículos. Pode comprometer a segurança do tráfego, sendo um problema mais evidente em estradas com solo argiloso, onde existe uma grande quantidade de material solto na superfície ou onde a ação abrasiva do tráfego solta as partículas aglutinantes dos agregados como ilustrada na figura 4.

Em estradas de solo arenoso formam-se pequenas nuvens que se assentam rapidamente, não interferindo na visibilidade dos motoristas. Sua causa se deve à abundância de material fino no leito da estrada, que forma nuvens de poeira na época de seca. Uma das melhores correções para este problema é um revestimento primário selante. No caso dos solos finos siltosos este problema se agrava, pois a formação de poeira é mais intensa e a capacidade de suporte deste material é baixa. Neste caso, além do revestimento primário, é necessário o reforço do subleito. Outra solução está no uso de estabilizantes químicos (SANTOS et al., 1988).



Figura 4 – Poeira após passagem de um veículo.

2.1.2.5. Seção transversal inadequada

É um problema que tem como característica a inadequação do perfil geométrico transversal do corpo estradal que acaba por prejudicar o escoamento das águas pluviais, impossibilitando a colocação de qualquer dispositivo de drenagem. Acaba por gerar ou agravar outros defeitos como ilustrada na figura 5.



Figura 5 – Seção transversal inadequada.

Fonte: (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.1.2.6. Trilha de roda

A deformação permanente nas trilhas de roda resulta da aplicação repetida das cargas do tráfego, particularmente em épocas de chuva, quando o solo saturado tem uma capacidade de suporte reduzida. É um tipo de defeito que pode ser utilizado como critério de medida da condição de ruptura dos pavimentos flexíveis, considerando-se os conceitos implícitos em alguns métodos de dimensionamento. Em alguns casos, em que as trilhas de roda apresentam grandes proporções elas impedem que a água escoe naturalmente para fora da pista, atuando como verdadeiras poças gerando problemas de drenagem que podem levar o surgimento de outros tipos de defeitos como ilustrados na Figura 7. De acordo com o tempo, o número de veículos que trafegam pelo trecho com este problema e ações de chuvas, a profundidade desta trilha de roda vai se alternando até impedir por completo o tráfego de veículos (SANTOS et al., 1988).



Figura 6 – Trilha de roda.

Fonte: (MOREIRA, 2003).

2.1.2.7. Drenagem lateral inadequada

a) É um defeito que é verificado quando as valetas laterais se encontram obstruídas dificultando, assim, o escoamento de água com conseqüente empoçamento que leva à erosão da borda da estrada como ilustrada na Figura 7 (SANTOS et al., 1988).



Figura 7 – Drenagem ineficiente no período de seca e chuva respectivamente.
Fonte: (MOREIRA, 2003).

2.1.3. Manutenção

A intervenção em rodovias, para realização de manutenção de maneira preventiva, reduz o custo operacional dos veículos. Para os usuários a ação de melhorar o padrão da estrada é extremamente importante. Entretanto, observando-se a curva que representa o custo total do transporte para a sociedade, verifica-se que, esse custo diminui sensivelmente, com o aumento da qualidade da rodovia, porém, até atingir certo patamar, a partir do qual, ele começa a aumentar. É esse ponto de inflexão da curva que indica o melhor padrão de rodovia, para a sociedade (NUNES, 2003).

A manutenção da estrada refere-se aos serviços destinados à conservação da pista de rolamento e do solo da estrada, garantindo a trafegabilidade dos veículos e a adequada distribuição das águas pluviais. O custo de manutenção é de difícil obtenção devido aos diversos fatores influentes, tais como solo, relevo, padrão de construção, nível de tráfego, entre outros (NUNES, 2003).

O DER-SP (1987) classificou os serviços de manutenção em uma via não pavimentada em:

a) serviços de rotina - conjunto de operações realizadas de forma contínua e sistemática;

b) serviços especiais - são aqueles que têm o objetivo de melhorar as condições originalmente apresentadas pela rodovia, através da execução, sem interrupção do tráfego, de obras de pequeno porte, complementares à construção inicial e,

c) serviços emergenciais - são serviços que visam dar condições de utilização a trechos que tiveram o seu tráfego interrompido em consequência de algum fato inesperado.

2.1.3.1. Importância

O grande volume de bens transportados pelas vias florestais e a sua enorme participação dentro do setor florestal são indicativos da necessidade de se manter a superfície de rolamento dessas vias o mais lisa, firme e livre de materiais soltos além de manter uma declividade transversal do leito adequada assegurando, assim, o escoamento superficial das águas. Aqui se evidencia a importância de se implantar programas de manutenção rodoviária através da utilização de um planejamento que concilie um resultado máximo com um menor investimento de recursos e esses programas de manutenção devem estar diretamente relacionados com a qualidade das estradas e com a vida das populações locais. A sua correta aplicação deve proporcionar um alto nível de serviços uma vez que quanto melhores as condições das superfícies de rolamento da estrada, menor o custo de operação dos veículos e menor o custo total dos transportes (NUNES, 2003).

2.1.3.2. Técnicas

De acordo com Machado (2002) a classificação dos métodos de manutenção é bastante variada que se observa ao se estudar as manutenções de estradas florestais. Entretanto, para efeitos desse trabalho, vamos dividi-la em corretiva e preventiva, sendo essa última subdividida em sistemática e de condição ou preditiva.

➔ Manutenção corretiva: pode ser definida como um conjunto de operações a serem realizadas após a ocorrência de uma falha (defeito) na estrada, a fim de restaurá-la para as condições originais.

➔ Manutenção preventiva: pode ser definida como um conjunto de ações que são efetuadas com o propósito de reduzir a probabilidade de ocorrência de defeito em uma estrada. É considerada uma intervenção prevista, preparada e programada antes do momento provável do surgimento do defeito. Uma vantagem desse método é a redução do esforço despendido pela equipe de manutenção, no trabalho de eliminar defeitos de estradas. Subdivide-se em:

- sistemática – pode ser definida como um conjunto de ações realizadas de acordo com um quadro de programações estabelecido em função do tempo de vida útil da estrada, ou seja, é baseada no histórico da estrada em estudo;

- de condição ou preditiva – pode ser definida como um conjunto de ações que são realizadas de acordo com as informações recebidas durante a monitoração dos parâmetros indicativos de defeitos das estradas. Este método mede os parâmetros físicos em relação aos limites previamente estabelecidos pela engenharia de tráfego, com o intuito de detectar, analisar e corrigir os problemas apresentados por um defeito, antes que aconteçam reduções na utilização dessas estradas. É necessário determinar os parâmetros físicos que possam mostrar as tendências dos defeitos de uma estrada estabelecendo-se, assim, limites (superior e inferior) que, a partir daí, serão monitorados. Quando um dos parâmetros monitorados exceder o limite superior, o serviço requerido é programado e executado antes da ocorrência do defeito (MACHADO, 2002).

O momento da intervenção é a diferença principal entre a manutenção preventiva sistemática e a preditiva uma vez que na primeira a intervenção é preestabelecida e, na segunda, ela ocorre assim que se atingem os limites estabelecidos para os parâmetros indicativos do defeito (MACHADO, 2002).

É importante que se monte uma equipe de manutenção para administrar todo um conjunto ordenado de meios e de ações tendo por objetivo principal preservar a capacidade produtiva da estrada, ou seja, garantindo a sua trafegabilidade ao longo do ano, a um custo reduzido, de forma a obter um

retorno ótimo dos investimentos efetuados na construção dessas (MACHADO, 2002).

Para que uma boa manutenção seja efetivada numa estrada deve - se ter em mãos um planejamento adequado para se evitar perda de tempo e de dinheiro, englobando desde um inventário das condições de trafegabilidade da estrada florestal, passando pela descrição dos defeitos encontrados, descrição e método empregado na medição dos defeitos, e uma tabela com atividades a serem executadas por partes, para que uma tarefa não se sobreponha à outra e com isso haja redução de custos e otimização do trabalho (ODA, 1996).

2.1.4. Métodos de avaliação de estradas não pavimentadas

A utilização de um sistema de gestão de pavimentos visa, principalmente, ao uso racional dos recursos financeiros destinados à manutenção da malha viária. De acordo com VIVIANI (1998), esses sistemas requerem uma avaliação subjetiva das condições da via e uma escala numérica de avaliação que pode ser feita observando-se os defeitos presentes na superfície estradal. Para o desenvolvimento de um sistema de gestão de pavimentos necessita-se de um inventário da situação atual da via e em conformidade com o órgão gestor. Em seguida, se estabelecem as prioridades para as melhorias baseadas nas condições da via e em sua importância sócio-econômica dentro do contexto local. Os vários métodos desenvolvidos para classificar as condições da superfície estradal são divididos em objetivos e subjetivos. Os métodos objetivos alcançaram uma aceitação maior por parte dos órgãos gestores tomadores de decisão uma vez que esses métodos trabalham com o cálculo de índices de condições (IC) da superfície de rolamento. Existem vários métodos de avaliação objetiva e subjetiva dos pavimentos rodoviários, conforme os citados (MUTTI, 2004):

2.1.4.1. Índice de condição

O índice de condição (IC) fornece ao tomador de decisão uma idéia geral a respeito da condição da superfície de rolamento estudada, tendo como consequência a priorização de atividades de manutenção e reabilitação para os

trechos que apresentarem maiores índices de deterioração. Variam em função da metodologia empregada, tipo de material apresentado na superfície estradal, o tráfego, relevo topográfico, pluviosidade entre outros. Esse índice, para estradas não-pavimentadas, é um valor que varia em uma escala numérica pré-determinada (MOREIRA, 2003).

2.1.4.2. Método proposto por VISSER e HUDSON

Estudos realizados por Visser e Hudson (1983) foram muito significantes para a evolução de sistemas de gerências de estradas não pavimentadas. Esses estudos consideravam a ocorrência de materiais, suas propriedades geotécnicas e o clima. Posteriormente, associou-se a estas, as solicitações provenientes do tráfego local além da influência dos dispositivos de drenagem presentes na via obtendo-se, assim, um sistema de manutenção e projeto para estradas não pavimentadas que ficou conhecido como Maintenance and Design System for Unpaved Roads (MDS). Este sistema é de fácil aplicação, porém, em condições brasileiras tem apresentado as seguintes dificuldades que podem até mesmo impossibilitar, por completo, o seu uso: a) é restrito a superfície rodoviária; b) foi desenvolvido para materiais e condições climáticas diferentes daquelas encontradas no Brasil; c) os modelos de deterioração propostos não consideram variáveis como o aspecto geométrico da plataforma que influenciam diretamente na drenagem, na passagem dos veículos e no processo de deterioração do pavimento (MOREIRA, 2003).

2.1.4.3. Avaliação subjetiva de RIVERSON

Desenvolvida por Riverson et al., (1987), este método permite classificar as condições de superfície de rolamento de estradas não-pavimentadas. Baseia-se no conforto e na segurança que estas estradas podem proporcionar aos seus usuários que a trafegam a uma velocidade constante pré-estabelecida. A classificação das estradas é baseada na variação de velocidade, que reflete na qualidade da viagem. Ou seja, quanto maior a densidade de defeitos na superfície, maiores serão as mudanças na velocidade e, conseqüentemente, menor a qualidade da viagem.

Este método permite verificar os problemas mais comuns em estradas não pavimentadas e quais as atividades de manutenção que deverão ser selecionadas e aplicadas. As avaliações das condições de superfície de rolamento ocorrem com a atribuição de valores em uma escala numérica de 0 a 5, conforme o nível de severidade de cada defeito. Os resultados variam em função do avaliador, do tipo de veículo utilizado e as condições ambientais (MOREIRA, 2003).

2.1.4.4. Avaliação objetiva de EATON

A avaliação proposta por Eaton et al. (1987 apud MOREIRA, 2003), envolve um método objetivo para o cálculo do índice de condição de rodovias não-pavimentadas (ICRNP) que está baseado em valores de dedução, obtidos de acordo com os defeitos encontrados e os respectivos níveis de severidade do trecho estudado. Os defeitos são classificados de acordo com suas dimensões em relação à área do trecho em que ocorrem.

A dificuldade em se medir os defeitos em estradas florestais é evidente pois mesmo nos métodos objetivos tem embutido subjetividade em suas avaliações que depende do treinamento da equipe que está medindo e anotando o tamanho e quantidade de cada defeito, portanto é bom a mesma pessoa fazer a avaliação dos defeitos e que ela seja bem treinada para obtermos dados mais confiáveis e seguros.

Após ter aplicado esse método em estradas não pavimentadas do município de São Carlos, Oda (1995), recomendou a adaptação deste às condições locais para que possa reproduzir bem as condições de superfície de rolamento encontradas no campo (MOREIRA, 2003).

2.1.4.5. Método de ALYNOMO

A inexistência de um método padrão para avaliar e classificar estradas não-pavimentadas aliada aos problemas relativos à adaptação de métodos importados e gasto de tempo levou à adoção do método ALYNO proposto por CORREIA (2003). Este método é de fácil aplicação e entendimento; baseia-se em levantamentos topográficos de alta precisão. Apresenta como característica

mais relevante a classificação das condições da superfície de rolamento (MOREIRA, 2003).

Mudanças nesse método, principalmente no isolamento das possíveis variáveis que dizem respeito às condições geométricas e ocorrência de materiais geotécnicos na estrada, ocasionando a inclusão dos levantamentos de dados geotécnicos e na definição dos subtrechos topográficos da área em estudo se fizeram necessárias surgindo, daí, o ALYNOMO. Enquanto que no ALYNO os resultados finais eram calculados a partir da função resultante dada pela influência da ação combinada de todos os elementos presentes na natureza, no ALYNOMO, o resultado final é calculado em função dos tipos de materiais encontrados e relevo da área de estudo, com isso, tem-se que:

- a definição dos trechos é baseada na classificação geotécnica dos diferentes tipos de solos encontrados, de acordo com as suas características e com a posterior criação de Zonas Geotécnicas (ZG) que fazem com que as características geotécnicas se tornem constantes em toda a extensão de cada ZG;

- ocorre, ainda, uma subdivisão das ZG's baseadas na variação brusca das rampas longitudinais do eixo da estrada criando-se, então, as Zonas Topográficas (ZT) apresentando, cada uma, um valor de rampa longitudinal. Com a criação dessas ZT's, a variável topográfica (rampa longitudinal do eixo da estrada) também se torna constante em toda a extensão de cada ZT;

- levantamento topográfico cadastral de precisão milimétrica obtido através de operação de um equipamento topográfico eletrônico de alta precisão, tanto da área em estudo quanto dos defeitos encontrados, exceto a poeira;

- classificação dos defeitos encontrados, quanto ao tipo e sua localização georeferenciada dentro de cada ZT;

- representação vetorial de todas as ZT's dos trechos levantados com os seus respectivos defeitos, permitindo geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) e do Modelo Digital dos Defeitos (MDD);

- a mensuração das áreas dos defeitos encontrados é feita no aplicativo de análise topográfica e se dá através do cálculo de área por coordenadas georeferenciadas (método de Gauss). O cálculo da profundidade desses defeitos se dá através da contagem das curvas de nível, que estão equidistantes de um centímetro facilitando a atribuição de valores para o Grau de Severidade Individual do Defeito (GSID). Os atributos de severidade baixo, médio e alto correspondem a 1, 2 e 3, respectivamente;

- encontrado o GSID de cada defeito por zona topográfica, calcula-se a média por tipo de defeito. Essa é a Severidade Média por Zona Topográfica (SMZT) que também varia de 0 a 3;

- de posse dos dados gerados anteriormente, calcula-se, agora, a densidade superficial relativa de cada tipo de defeito por zona topográfica (DSRZT), que consiste no quociente entre a soma das áreas ou comprimento de cada tipo de defeito pela área total ou comprimento total da zona topográfica em que estão inseridos os defeitos. O DSRZT é calculado para cada tipo de defeito;

- o produto dos valores de SMZT e DSRZT de cada tipo de defeito consiste em um valor indicativo da severidade relativa por defeito na zona topográfica e é expresso em valores com três casas decimais, variando de 0 a 3, sendo esse valor denominado Índice de Severidade Relativa por Zona Topográfica (ISRZT);

- o ISRZT está associado ao número de defeitos do trecho em estudo. Quando ocorre mais de um ISRZT por trecho, o maior valor dará a condição de severidade (CORREIA, 2003) recebendo o nome de Índice de Condição por Zona Topográfica (ICZT) e

- o índice de serventia de um trecho mede o quanto esse trecho é funcional e confortável ao tráfego por ele utilizado. A serventia é inversamente proporcional à severidade. Utilizou-se, aqui, um Índice de Serventia por Zona Topográfica (ISZT) variando de 0 a 3, expresso com três casas decimais.

A classificação obtida através do emprego do método ALYNOMO mostrou-se coerente com as dos estados reais encontrados em campo. A partir do conhecimento das alterações sazonais dos trechos esta ferramenta pode ser útil na previsão de trechos prioritários geralmente mais deteriorados em períodos chuvosos. Assim, o tomador de decisões que gerencia a malha rodoviária não-pavimentada poderá tomar decisões que atendam às suas necessidades (MOREIRA, 2003).

2.1.4.6. Manual de avaliação e classificação da superfície de pavimento de cascalho

O manual de avaliação e classificação da superfície de pavimento de cascalho, ou GPM (Gravel Paver Manual) foi criado pela Universidade de Wisconsin-Madison nos EUA pelo Centro de Informação de Transporte e tem por objetivo avaliar as condições da estrada de cascalho de forma subjetiva, com uma escala variando de 1 a 5 e classificação de falido a excelente. As condições de alguns fatores que são considerados, tais como, seção transversal, drenagem, espessura de cascalho, deformação da superfície como buracos, afundamento de trilha de roda e ondulações e defeitos da superfície como poeira e agregados soltos, nesse método são mais importantes que os detalhes das condições da superfície que podem variar do dia para a noite ou com o tempo quando, por exemplo, chove bastante, ou com o tráfego pesado. Existem algumas condições para avaliar e classificar a estrada de cascalho, como a capacidade de escoar a água para fora da estrada; a análise da espessura da camada de cascalho não pode ser menor que 10 cm levando em consideração o tipo de solo e a qualidade do cascalho para suportar o tráfego pesado e devem ser observados defeitos na superfície como a presença de poeira, deformação do tipo ondulação e afundamento de trilha de roda (WALKER, 1989).

2.1.4.7. Levantamento da condição da estrada e inspeção visual

É um procedimento de origem europeia de avaliação objetiva tem se dois níveis diferentes de inspeção: o levantamento da condição da estrada (Road Condition Survey – RCS) que pelo menos uma vez ao ano deve ser realizado sobre a rede rodoviária inteira, porque desse modo tem-se uma avaliação regular do que precisa ser feito de manutenção e das condições da estrada. Nas seções das estradas que pela inspeção através do RCS foram identificadas como maior urgência para realização de consertos e reparos conduz-se a inspeção através da inspeção visual detalhada (Detailed Visual Inspection). O objetivo do RCS é identificar trechos da estrada em que se encontram em situações críticas. No caso do DVI, o objetivo é registrar o tipo, a densidade e a severidade do defeito para que se possa fazer uma análise minuciosa para descobrir as causas e tomar as medidas necessárias para os reparos. A densidade do defeito é expressa na percentagem da superfície de área com valores menores que 10%, entre 10-50% e maiores que 50% apresentados em uma escala que vai de 5 a 1 com classificação de falido a excelente. Leva em consideração a opinião do usuário da rodovia quanto à qualidade de dirigibilidade da estrada em uma escala de 0 a 5 pontos. Aspectos como vegetação ou entulhos que invadem a pista e prejudicam quem necessita dela também são analisados em uma escala de 3 pontos. Devem ser observado também aspectos que interferem na estrutura da estrada como os buracos (OECD, 1990).

2.1.4.8. Índice de condição de estrada de terra

Segundo Moreira (2003) e Mutti (2004), o índice da condição das estradas de terra (Earth Road Condition Index) popularmente conhecido como ERCI é um método de origem egípcio onde os níveis de severidade dos defeitos são enquadrados em classes que vão de suave a grave, sendo um método de avaliação objetiva com uma escala que varia de 0 a 100 para classificar a condição da estrada como péssimo, ruim, regular, boa e muito boa. A rede rodoviária é dividida em trechos homogêneos que são percorridos e é feita uma nova divisão em subseções determinadas de acordo com as

características semelhantes dessas seções, onde cada subseção tem que ter pelo menos 10% do comprimento total da seção que é suficiente para representar a rodovia. Por exemplo, em um trecho de 1000 m de extensão, 100 metros seria uma subseção suficiente para representar o trecho. Cada unidade da subseção é inspecionada e os defeitos são registrados em uma planilha avaliando sua severidade para depois calcular o valor de dedução a partir da multiplicação dos níveis de severidade pelos pesos dos defeitos e pela influência da densidade para cada defeito, e através da soma desses valores de dedução individuais, chega-se ao total do valor de dedução (TVDe) e com esse total é calculado o ERCI que é a média dos valores das unidades das subseções, obtida pela equação:

$$\text{ERCI} = 100 - \text{TVDe} \quad (\text{equação 1})$$

2.1.4.9. Avaliação pelo sistema de gerenciamento da superfície da estrada

O sistema de gerenciamento da superfície da estrada (Road Surface Management System) foi desenvolvido pela Universidade de New Hampshire nos Estados Unidos da América e trata-se de uma metodologia objetiva usada em estradas pavimentadas e não pavimentadas para estabelecer a gestão do pavimento em relação à alternativa de recuperação das condições das estradas, necessidade de manutenção, pela avaliação da condição do pavimento denominado como Pci – Pavement Condition Indicator (Indicador da Condição do Pavimento). Primeiramente, faz-se um inventário da rede viária contendo volume de tráfego, nome do segmento, número de pistas, tipo de superfície, importância da via, ponto de início e fim e depois, é realizado um levantamento do estado em que se encontra a superfície da estrada, determinando a condição de cada trecho, observando visualmente os defeitos que existem. São avaliadas as condições dos defeitos e identificados seguindo os níveis de severidade (baixo, médio e alto) e da densidade. No caso de estradas não pavimentadas são analisados os seguintes defeitos: afundamento de trilha de roda, segregação de agregados, buracos, ondulações, seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada e controle de poeira de acordo com o Field Manual – Identification of Road Surface Conditions (Manual

de Campo – Identificação das Condições da Superfície de Estradas) (UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE, 2002).

2.1.4.10. Avaliação subjetiva proposta por VISSER

Na África do sul foi aplicado um método elaborado por Visser (1994) e Visser et al., (1997), intitulado Avaliação de estradas de cascalho (Assement Gravel Roads), onde através de uma inspeção visual detalhando informações gerais da rodovia é realizado, primeiramente, como tamanho em km, para depois, sim ser feita uma avaliação estrutural de quais defeitos apresenta esta rodovia, como buracos, ondulações, afundamento de trilha de roda e presença de poeira, onde os avaliadores seguindo uma escala de 1 a 5 vão informando sobre as condições em que se encontra a estrada em questão (muito boa, boa, regular, ruim e muito ruim). Avaliam-se também as propriedades do cascalho, tipo do material, tamanho e classificação, índice de plasticidade e por fim uma avaliação funcional sobre a qualidade de dirigibilidade, resistência a derrapagem, erosão e drenagem.

Um outro método, como o proposto por Jamsa (1983), muito usado na Finlândia, de avaliação subjetiva onde a equipe avaliadora atribui notas que variam em uma escala de 0 a 5 referente as condições da superfície de rolamento com a finalidade de estabelecer quando as estradas requerem manutenção.

2.2. Redes neurais

2.2.1. Neurônio biológico

Pelo que se conhece, o cérebro humano possui cerca de 10 bilhões de neurônios, caracterizando-se por serem as células humanas de maior complexidades estruturais e pelo fato de apenas desenvolverem-se durante o estágio embrionário da vida humana, permanecendo este número constante ao longo da vida do indivíduo, alterando apenas em volume e prolongamento de suas conexões com outras células (HAYKIN, 2001).

Todas as funções e movimentos do organismo estão relacionados ao

funcionamento destas pequenas células. Os neurônios estão conectados uns aos outros através de sinapses, e juntos formam uma grande rede, chamada rede neural. O estímulo é transmitido entre as sinapses por neurotransmissores. Esta grande rede proporciona uma fabulosa capacidade de processamento e armazenamento da informação. O sistema nervoso é formado por um conjunto extremamente complexo de neurônios. Nos neurônios a comunicação é realizada através de impulsos, quando um impulso é recebido, o neurônio o processa, e passado um limite de ação, dispara um segundo impulso que produz uma substância neurotransmissora o qual flui do corpo celular para o axônio (que por sua vez pode ou não estar conectado a um dendrito de outra célula). O neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para operação de uma rede neural e é através dele que é transmitido o pulso e pode controlar a frequência de pulsos aumentando ou diminuindo a polaridade na membrana pós sináptica. Eles têm um papel essencial na determinação do funcionamento, comportamento e do raciocínio do ser humano. Ao contrário das redes neurais artificiais, redes neurais naturais não transmitem sinais negativos, sua ativação é medida pela frequência com que emite pulsos, frequência esta de pulsos contínuos e positivos. As redes naturais não são uniformes como as redes artificiais, e apresentam uniformidade apenas em alguns pontos do organismo. Seus pulsos não são síncronos ou assíncronos, devido ao fato de não serem contínuos, o que a difere de redes artificiais. Os principais componentes dos neurônios são:

- Os dendritos, que têm por função, receber os estímulos transmitidos pelos outros neurônios;

- O corpo de neurônio, também chamado de soma, que é responsável por coletar e combinar informações vindas de outros neurônios;

- O axônio, que é constituído de uma fibra tubular que pode alcançar até alguns metros, e é responsável por transmitir os estímulos para outras células. Na Figura 8 é ilustrado os constituintes da célula animal (HAYKIN, 2001).

- O cérebro nada mais é do que um computador só que melhorado eficiente, pois processa todas as informações a respeito dos seres humanos sendo altamente complexo com uma enorme capacidade de organizar seus constituintes estruturais conhecidos por neurônios, de modo que eles possam

fazer a percepção das coisas, o controle motor, processando informações muito mais velozes que o melhor dos computadores digitais existentes hoje em dia (HAYKIN, 2001).

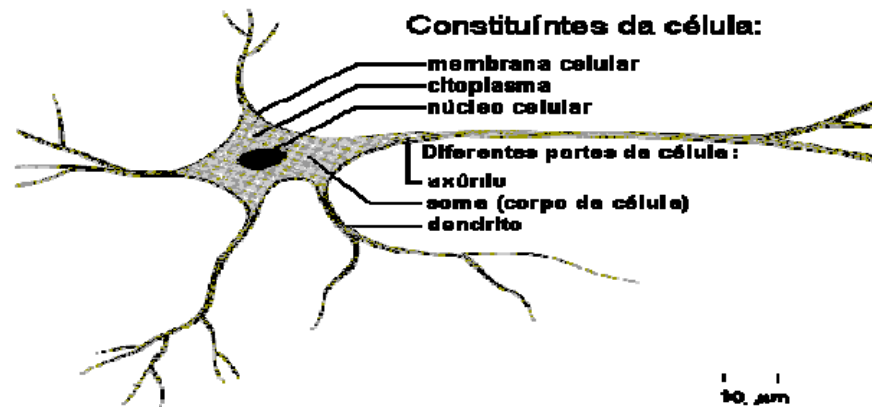


Figura 8 - Esquema dos constituintes da célula animal
Fonte: (HAYKIN, 2001).

2.2.2. Redes neurais artificiais (RNA's)

Primeiramente torna-se necessário descrever sobre a inteligência e sabemos que sua origem vem do latim inter (entre) e legere (escolher), que quer dizer algo que nos permite escolher entre uma coisa e outra, ou seja, seria a capacidade de resolver situações problemáticas novas, que vêm de um resultado dos processos de aquisição, da ação de memorizar para depois ser usado. A inteligência engloba aspectos importantes como linguagem, pensamento, memória, raciocínio concluindo que a inteligência não é um processo mental único, mas sim uma combinação de vários processos mentais dirigidos à adaptação efetiva ao meio ambiente. Já a inteligência artificial é um ramo da ciência da computação dedicado a desenvolver equivalentes computacionais de processos peculiares à cognição humana, como, p.ex., a produção de inferências lógicas, o aprendizado, a compreensão de linguagem natural e reconhecimento de padrões (NUNES, 2003).

A inteligência artificial é o desenvolvimento de paradigmas ou algoritmos que requeiram máquinas para realizar tarefas cognitivas, para as quais os humanos são bem melhores e um sistema de inteligência artificial deve ser capaz de armazenar e aplicar conhecimento para melhorar ou resolver

problemas e com isso adquirir novos conhecimentos. Essa ciência tem um vasto campo de pesquisa encontrada em várias áreas que visa dotar as máquinas de algum tipo de habilidade tentando simular a inteligência humana através de um conjunto de técnicas de programação de sistemas. Merece um destaque especial a técnica de Redes Neurais Artificiais que propõe um modelo que tenta lembrar a estrutura neural de organismos inteligentes e adquirem conhecimento por meio da experiência, e é através desta técnica que será possível a estruturação de um modelo específico de previsão de defeitos em estradas rurais (NUNES, 2003).

2.2.3. Histórico

Atribui-se aos neurofisiologistas Donald Hebb e Karl Lashley, na década de 40, as primeiras simulações em RNA. O neurofisiologista Warren McCulloch e o matemático Walter Pitts, em 1943, criaram o primeiro modelo de neurônio artificial. Em seu trabalho intitulado *A Logical Calculus of the Ideas Immanente in Nervous Activity*, descrevem um cálculo lógico das redes neurais resultantes da unificação dos estudos de neurofisiologia e de lógica matemática e propõem um modelo simplificado de neurônios biológicos, gerando grande repercussão no meio científico e influenciando o matemático John Von Neumann na construção do EDVAC (*Eletronic Discrete Variable Automatic Computer*) que foi desenvolvido a partir do ENIAC (*Eletronic Numerical Integrator and Computer*), primeiro computador de propósito geral (LOESCH & SARI, 1996).

Em 1949, Donald Hebb em seu livro *The Organization of Behavior* propôs uma lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurônios, já em 1951, Marvin Minsky criou o primeiro neurocomputador denominado de Snark que, apesar de nunca ter executado qualquer função de processamento de informação interessante, serviu de inspiração para trabalhos posteriores.

Em 1956, na primeira Conferência Internacional de Inteligência Artificial, o pesquisador Nathaniel Rochester, da IBM, apresentou um modelo de Rede Neural Artificial que simulava centenas de neurônios interconectados através da construção de um sistema para verificar como a rede responderia aos estímulos ambientais (TAFNER et al., 1996).

Em 1958, Frank Rosenblatt em seu livro *Principles of Neurodynamics* forneceu várias idéias a respeito dos Perceptrons, modelos de neurônios baseados nos conceitos de McCulloch e Pitts (LOESCH & SARI, 1996).

Em 1969, Marvin Minsky e Seymour Papert em seu livro *Perceptron* resumiram e criticaram seriamente a pesquisa sobre Redes Neurais Artificiais o que levou a uma retração nos investimentos e programas de pesquisa para essa tecnologia.

Em 1982, John Hopfield, físico e biólogo do Instituto de Tecnologia da Califórnia deram um novo impulso às redes neurais artificiais, contestando, com sucesso, os trabalhos matemáticos de Minsky e Papert.

As redes neurais apresentadas neste trabalho foram treinadas e testadas utilizando a ferramenta SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator) que é uma ferramenta que vem sendo desenvolvida pelo IPVR (Institut für Parallele und Verteilte Höchstleistungsrechner) na Universidade de Stuttgart, desde 1989. Basicamente o projeto desta ferramenta busca alcançar eficiência e alta flexibilidade no projeto e aplicação de redes neurais, integrados em um só ambiente de simulação (NUNES, 2003).

2.2.4. Definições

As redes neurais artificiais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Uma grande rede neural artificial pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento e os cérebros de um mamífero podem ter muitos bilhões de neurônios, portanto conclui-se que as RNA'S são processadores paralelos e distribuídos massivamente apresentando uma propensão natural para armazenar conhecimento proveniente da experiência dando-lhe uma utilidade (HAYKIN, 2001).

De modo geral, podem ser definidas como modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e adquirem capacidade por meio de aprendizado e posterior generalização. São várias as RNA's, mas observa-se que todas apresentam pelo menos dois elementos em comum: podem ser descritas com base em seus neurônios artificiais e das conexões que ocorrem

entre eles (topologias). Podem, ainda, ser descritas em termos das suas regras de aprendizado. Os sistemas de computação baseados em RNA são compostos de um grande número de elementos de processamento denominados neurônios e têm a capacidade de receber, ao mesmo tempo, várias entradas distribuindo-as de maneira organizada. As informações armazenadas por uma RNA são compartilhadas por todas as suas unidades de processamento (NUNES, 2003).

2.2.5. Função de ativação

Estas funções têm por finalidade transformar a entrada total recebida por um neurônio em um estado ou sinal de ativação. Esse sinal de ativação de um neurônio é definido pela função de ativação, de acordo com o nível de atividade de entrada. As funções típicas trabalham com adição, comparação ou transformações matemáticas e devem ser não-linear e diferenciável e essa não linearidade é atribuída ao fato de ter sido provável que uma rede com mais de uma camada, cujos neurônios ou nós utilizam funções de ativação lineares, é equivalente a uma rede de uma só camada. A diferenciabilidade se deve ao fato do gradiente poder ser calculado, direcionando o ajuste dos pesos. A função de ativação mais utilizada nas redes MLP (Multilayer Perceptron) é a sigmoideal logística como representada na Figura 9 ($x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n$), onde x_1, x_2, \dots, x_n são os sinais de entrada do neurônio e w_1, w_2, \dots, w_n são os pesos sinápticos do neurônio em questão, (HAYKIN, 2001).

A função de ativação logística sigmóide pode ser representada por:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x}). \quad (\text{equação 2})$$

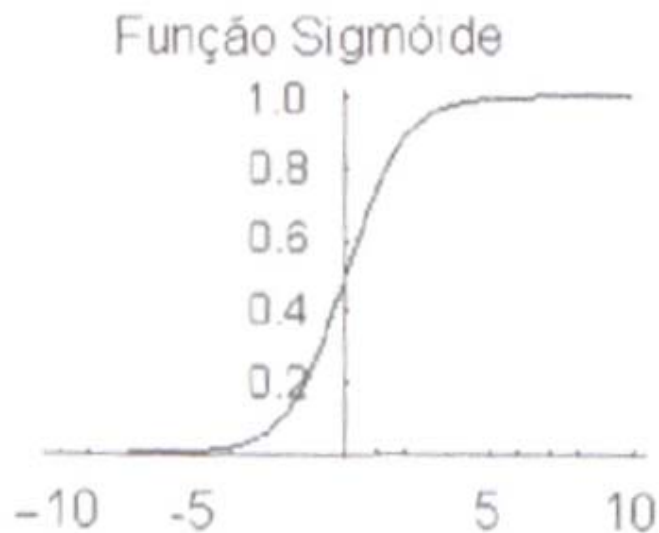


Figura 9 – Função de transferência sigmóide
Fonte: (NUNES, 2003).

2.2.6. Arquitetura de redes

A arquitetura da rede ou topologia é a forma como os neurônios são organizados em uma rede neural. Essa arquitetura afeta o desempenho da rede bem como as aplicações para as quais ela é desejada e sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado para o treinamento. Normalmente, as arquiteturas são classificadas em quatro tipos, de acordo com as camadas consideradas: uma camada, multicamadas, recorrentes e entrelaçadas (NUNES, 2003).

Vale ressaltar que a rede MLP é composta por uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída. Essas redes podem ser usadas como classificadoras ao se utilizar somente uma camada oculta e a classificação das características acontece pela combinação de retas, podendo implementar qualquer função contínua.

A rede MLP arranja as unidades Perceptrons em camadas e passa a contar com uma ou mais camadas intermediárias, nas quais cada unidade funciona como um Perceptron, exceto pela função de ativação que passa a ser a sigmoidal. Usualmente, as camadas são divididas em três grupos:

- a) camada de entrada: aqui os padrões são apresentados à rede;

b) camadas intermediárias ou ocultas: aqui ocorre a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas. Podem ser consideradas como extratoras de características e,

c) camada de saída: onde o resultado final é concluído e apresentado.

2.2.7. Processos de aprendizagem

As redes neurais artificiais apresentam como característica mais marcante a capacidade de aprender a partir de exemplos. Esse aprendizado ocorre a partir do momento em que a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas. A aprendizagem, segundo NUNES (2003), refere-se ao processo pelos quais os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados por meio de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. Essa determinação se dá de acordo com a maneira pela qual os parâmetros são modificados na rede. Os processos de aprendizagem são classificados segundo dois critérios: os paradigmas de treinamento e as regras ou algoritmos de aprendizagem.

2.2.7.1. Paradigmas de treinamento

A maneira como a RNA se relaciona com seu ambiente é determinada pelos paradigmas de treinamento. Na MLP utiliza-se a aprendizagem supervisionada caracterizada no fato de que é necessária a presença de um agente externo que, mesmo não manipulando os pesos da RNA, os quais são determinados aleatoriamente, indicam à rede qual a resposta desejada para o padrão de entrada. Neste tipo de aprendizado, apresenta-se à rede uma série de entradas acompanhadas de suas respectivas saídas objetivando, assim, a minimização do erro o que pode ser alcançado com o ajuste dos pesos da rede.

2.2.7.2. Regras ou algoritmos de aprendizagem

Algoritmo de aprendizagem se refere ao conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizagem. Essas regras

determinam a maneira como se realizam os ajustes de pesos. Para as MLP's utiliza-se o aprendizado por correção e erro, também conhecida como Regra Delta Generalizada, ou Backpropagation, que é a extensão do método do gradiente descendente para redes de múltiplas camadas.

Backpropagation diz respeito ao fato do algoritmo se basear na retropropagação dos erros para os ajustes de pesos das camadas intermediárias, ou seja, quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma série aleatória – a diferença entre essa saída e a desejada constitui o erro. O objetivo do processo de treinamento é a minimização do valor do erro.

2.2.8. Uso do RNA em rodovias

Dougherthy (1995) realizou uma pesquisa onde foi apresentada a importância das redes Multilayer Perceptron e se pode concluir que estas juntamente com o algoritmo Backpropagation são os mais utilizados em pesquisas sobre transporte com obtenção de bons resultados.

Brega (1996) demonstrou que as RNA's são capazes de avaliar as condições de pavimentos e indicar as intervenções necessárias. Como resultado, obteve a classificação do pavimento em cinco categorias: péssimo, ruim, regular, bom e ótimo; além de mostrar o tipo de restauração a ser empreendida.

Cassa e Cunha Neto (1996) demonstraram ser possível a utilização da técnica das RNA's para prever o comportamento mecânico dos materiais usados em pavimentação a partir de algumas de suas propriedades, especificamente a resistência à compressão do concreto e a resistência à flexão da pasta de cimento comum.

Rodgher et al., (1997) previram a classe MCT (Miniatura Compactado Tropical) dos solos de regiões tropicais, por meio das RNA's e concluíram que a partir de algumas das propriedades dos materiais, as Redes Neurais Artificiais são capazes de prever a sua classificação MCT.

Rodgher e Oda (1997) realizaram um trabalho sobre a previsão de defeitos em estradas por meio da utilização das RNA's com base em características geotécnicas, climáticas, geométricas e de tráfego. Obtiveram

como resultado, um desempenho de 88% e concluíram que as RNA's têm potencial de aplicabilidade na previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas.

Rodgher et al., (1997) apresentaram um trabalho utilizando as RNA's para prever a seleção das atividades de manutenção e reabilitação de estradas não-pavimentadas. Concluíram sobre o reconhecimento promissor das Redes Neurais para fins de classificação de padrões.

Coutinho Neto (2000) demonstrou ser possível se fazer retroanálise de pavimentos flexíveis utilizando a técnica das RNA's. O autor comparou os valores dos módulos resilientes previstos com valores considerados reais, utilizando-se o programa ELSYM5, obtendo um bom desempenho e concluiu serem as RNA's ferramentas promissoras para serem utilizadas nos procedimentos de retroanálise de pavimentos flexíveis de duas, três ou quatro camadas. Como grande vantagem da aplicação da técnica de Redes Neurais Artificiais, cita-se a sua adaptabilidade às tecnologias já existentes na área de infra-estrutura de transportes.

2.3. Sistemas de gestão de pavimentos (SGP)

Sabe-se que o pavimento de uma auto-estrada tem necessidades diferentes do pavimento de uma estrada vicinal destinada, por exemplo, ao transporte florestal. O pavimento de uma estrada vicinal não pode, sob pena de não ser rentável, ter os mesmos requisitos de uma estrada com alto volume de tráfego.

De acordo com Domingues (1995) para cada padrão de rodovia, cada categoria de usuário avalia um pavimento sob ponto de vista às vezes distintos. Assim, é importante que o órgão rodoviário responsável por determinada malha de rodovias, tenha critérios próprios para avaliar os pavimentos de suas estradas, em função das solicitações dos usuários, do custo ótimo para a sociedade e dos padrões técnicos pertinentes. A avaliação das condições da superfície de rolamento de estradas é feita através do levantamento de seus defeitos no campo. Para fins de utilização em Sistemas de Gestão de Pavimentos, o levantamento de campo envolve a seleção dos defeitos mais significativos e a medida e avaliação da extensão e severidade de cada defeito.

Nossas rodovias, pavimentadas ou não, representam patrimônio de valor extremamente elevado que precisa ser preservado. O que exige inúmeras ações que devem ser executadas de forma oportuna, eficiente e harmônica. Para conservá-lo é necessário que a qualidade dessas ações seja corretamente gerenciada.

Um Sistema de Gestão de Pavimentos é um conjunto de atividades coordenadas, que se destina a projetar, a construir, a manter, a avaliar e a conservar os pavimentos e, a priorizar os investimentos, de maneira que o público usuário possa ser servido por uma rodovia, confortável, segura, eficiente e econômica. Assim sendo, pode-se afirmar que um (SGP) é um processo que permite executar as ações que são oportunas e rentáveis, para prover uma malha pavimentada, de transporte confortável, seguro, eficiente e econômico, para as pessoas, os veículos e as cargas (DOMINGUES, 1995).

O meio ambiente pode ser influenciado de diversas formas por causa de uma estrada, e quando as condições naturais são modificadas pela construção de uma estrada, tem-se aí o início da corrida entre o aparecimento da erosão e o crescimento da vegetação. As estradas tendem a interferir nos padrões naturais de drenagem e tendem a promover a concentração de água em vários locais. A superfície compactada da pista dificulta a infiltração da água, levando a um aumento das taxas de escoamento superficial (run-off) (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Conforme Domingues (1995) e Nishiyama (1995), o estabelecimento de um Sistema de Gerência de Pavimento se torna tão mais importante, quanto pior se encontrarem as condições das estradas de uma rede rodoviária e, quanto menor for a disponibilidade de recursos. O seu objetivo principal é usar informações confiáveis e, tomar decisão criteriosa, para produzir um programa de custo real de pavimento, em uma rede organizada. Assim, um bom Sistema de Gerência de Pavimentos busca definir estratégias de manutenção procurando minimizar o custo do transporte rodoviário e obter um bom retorno para os recursos aplicados; busca, também, otimizar o uso dos recursos destinados à manutenção da infra-estrutura rodoviária e obter um desempenho para o pavimento que alcance o padrão de satisfação dos usuários.

O que se busca com as atividades de um SGP é encontrar a melhor solução possível, dentro dos recursos disponíveis, para melhorar e operar as

vias pavimentadas da rede que está sendo analisada. Assim, um bom Sistema de Gerência de Pavimentos deve procurar aumentar a eficiência das tomadas de decisão; Informar as conseqüências das decisões tomadas, nos diversos níveis; assegurar coerência entre as decisões tomadas; definir a estratégia de manutenção que minimiza o custo de transporte rodoviário; obter o melhor retorno para os recursos aplicados, por meio de um transporte seguro, confortável, econômico e, otimizar o uso dos atributos destinados a manutenção da infra-estrutura rodoviária (DOMINGUES, 1995).

Ainda segundo Domingues (1995) para alcançar estes objetivos um Sistema de Gestão de Pavimentos deve ter a capacidade de se atualizar constantemente, de considerar estratégias alternativas, de ser hábil para determinar a opção ótima, de basear as suas decisões em atributos quantificados, em critérios e em restrições e, de usar a retro-alimentação de informações.

2.3.1. Níveis de gestão

Um sistema de gestão de pavimentos (SGP) tem por objetivo aperfeiçoar técnica e economicamente o uso de recursos financeiros propiciando, assim, um transporte seguro, econômico e confortável de pessoas e bens. Através da comparação de diferentes alternativas de investimento, em nível de projeto e em nível de rede, e coordenando todas as atividades intervenientes no planejamento dos investimentos, é possível se atingir este objetivo.

Para Domingues (1995) um Sistema de Gestão de Pavimento pode ser analisado ao nível de rede e ao nível de projeto. Quanto ao nível de rede, analisam-se programas opcionais, tornando possível identificar qual trará maior benefício, no período de análise selecionado. Quanto ao nível de projeto, fornece detalhadas considerações, para opções de projeto, de construção, de manutenção ou de reabilitação de uma seção particular dentro da rede, de tal maneira que, possibilita a identificação de uma estratégia ótima.

Para Moreira (2003) a gerência em nível de rede consiste em um conjunto de considerações e atividades mais amplas que a gerência em nível de projeto, pois a mesma deve prover programas prioritários para toda uma malha ou rede rodoviária, segundo as restrições orçamentárias do órgão

rodoviário responsável pela tomada de decisão. Em nível de projeto, os objetivos devem ser estabelecidos partindo-se da solução mais recomendada do ponto de vista técnico-econômico. Nesse nível, as informações são mais detalhadas e as análises aprofundadas o suficiente para se definir os projetos considerando-se análises comparativas de custos e de benefícios. Isto se deve ao fato da análise dedicar-se à solução de problemas individuais ou de um grupo menor de situações dentro da malha. A diferença fundamental entre as gerências em nível de rede e em nível de projeto está ligada com a quantidade de dados e com a profundidade de análise requerida.

Um modelo de SGP deve ter uma sistematização no inter-relacionamento de suas atividades, para que funcione de forma adequada. Isto é, na análise da malha rodoviária, feita em nível de rede, identificam-se segmentos ou trechos que necessitem de manutenção e/ou reparos. Com essa identificação é possível fazer análises de todas as soluções possíveis para cada caso, já em nível de projeto, por necessitar-se de avaliações e informações mais detalhadas, e que normalmente não estão disponibilizadas em nível de rede, o que pode requerer estudos adicionais. Estes estudos são desenvolvidos com o intuito de se obter conhecimento suficiente das condições do pavimento (serventia, estruturais e/ou funcionais) e as possíveis causas de sua deterioração (NUNES, 2003).

2.3.1.1. SGP em nível de rede

Segundo Marcon (1996) o nível de sofisticação e de tecnologias utilizados em um SGP está diretamente correlacionado com a disponibilidade de recursos humanos, financeiros e de equipamentos por parte do órgão gestor. Esses componentes são relacionados a seguir:

a) localização referenciada – o referenciamento e a locação de todos os tipos de estradas existentes na malha faz-se necessário, pois, com isso, tem-se uma visão sistêmica de toda a rede. Segundo Nunes (2003) os métodos mais comuns de referenciamento são a ligação de nós da malha, trechos e instalações, seção característica, extensão total, extensão troncal e o georeferenciamento de toda a malha.

b) coleta e seleção de dados – é uma atividade fundamental dentro de um sistema de gerência de pavimentos, tendo como objetivo alimentar à base de dados que subsidiará todas as análises e decisões tomadas em relação à malha. Necessita de atualizações constantes e da confiabilidade das informações. De acordo com Nunes (2003) as principais categorias de dados são:

- inventário a respeito do pavimento: extensão, área, geometria transversal e longitudinal, estrutura do pavimento, número e tipos de camadas, história de construção e reabilitação, histórico de manutenção, drenagem, funcionabilidade econômica e classificação funcional;
- características do tráfego: volume de tráfego, carregamento, classificação dos veículos que transitam na estrada e acidentes ocorridos;
- condições do pavimento: defeitos apresentados, aspereza, qualidade do rolamento, resistência à derrapagem, textura, dureza, flexibilidade, deflexões, materiais, propriedades das camadas e drenagem;
- meio ambiente: precipitação, incidência de irradiação solar, ciclo de gelo e degelo (países localizados em zonas temperadas) e variação da temperatura do pavimento e
- custos: de construção por tipo de pavimentos, das atividades de reabilitação e manutenção para oferecer conforto e segurança para os usuários.

c) gerenciamento de banco de dados – o uso de computadores neste gerenciamento è extremamente recomendado, pois, com isso, o banco de dados de toda a rede pode ser integrado através de *softwares* de análise que transformam as informações do banco de dados em informações que assistem e/ou fornecem suporte suficiente ao processo de decisão. Com isso NUNES (2003) explicou que *software* e *hardware* dinamizam as seguintes informações:

i) interface da coleta dos dados de campo com os dados armazenados no sistema;

ii) a leitura, a retro-alimentação, manutenção, verificação, atualização e integração com outros sistemas de estrutura base do banco de dados;

iii) interface do banco de dados com outras rotinas de análise; e

iv) interfaces com sistemas de informações geográficas, o que se faz necessário nos casos de ampliação do sistema de gerência de pavimentos.

d) componentes da análise – segundo NUNES (2003) embora existam vários modelos de análise que são empregados em sistemas de gerência de pavimento, o órgão gestor pode desenvolver um procedimento específico para as suas necessidades de análise, no gerenciamento dos pavimentos da malha sob sua responsabilidade. A associação desses modelos ao SGP visa os seguintes objetivos:

i) modelos de previsão de desempenho: modelos matemáticos usados para prever a condição futura de serventia do pavimento sendo uma ferramenta importante na definição de quando e qual alternativa de manutenção deve ser aplicada. A aferição dessas informações, que devem ser o mais confiável e acurado possível, se dá com base no monitoramento da rede (MOREIRA, 2003);

ii) análise de custo: os dados de custo de reconstrução e manutenção são usados para estimar orçamentos correntes. Esses dados, juntamente com a inclusão dos custos do usuário, podem ser usados em análises do custo no ciclo de vida útil do pavimento e em análises de priorização, otimização e sobre consequências da estratégia de manutenção escolhida;

iii) priorização: esses modelos são geralmente usados para gerar listas de projetos candidatos e programação de atividades. A presente condição do

pavimento, taxa de deterioração, tráfego e outros critérios específicos do órgão gestor são incorporados aos algoritmos e/ou equações de priorização;

iv) otimização: é a análise de várias estratégias de manutenção, reabilitação e reconstrução, em nível de rede. Os objetivos a serem alcançados são a maximização dos benefícios, minimização dos custos e maximização da vida útil do pavimento, com base em um nível de serventia previamente estabelecido. Os modelos de otimização comumente usam técnicas matemáticas de programação linear, programação inteira e programação dinâmica; e

v) análise de consequência – esta análise dá ao órgão responsável pela tomada de decisão a capacidade de avaliar os impactos financeiros que a estratégia escolhida tem sobre o seu orçamento disponibilizado, em nível de rede.

e) implementação – para iniciar um SGP em um órgão gestor ou uma agência responsável pela tomada de decisão de uma determinada rede rodoviária, há necessidade de se desenvolver procedimentos do SGP em conjunto com a agência. Estes procedimentos têm que ser desenvolvidos de tal forma que se assegure a aceitabilidade do SGP por parte do corpo técnico especializado, compatibilidade com as necessidades do órgão para que o SGP se torne útil. O plano de implementação pode definir como necessários computadores, softwares, equipamentos, pessoal treinado e organização estrutural do órgão gestor.

A introdução de um SGP esbarra, na maioria das vezes, na dificuldade de mudar os padrões gerenciais existentes nas entidades gestoras rodoviárias, sendo necessário um trabalho de conscientização, podendo ocorrer em dois níveis: na operação e na manutenção do SGP;

i) operação: criação de procedimentos necessários para o desenvolvimento de coleta, entrada, qualidade e acuracidade dos dados de campo bem como treinamento contínuo do quadro técnico;

ii) manutenção: criação de procedimentos necessários para o desenvolvimento de rotinas de atualização do banco de dados, emissão de relatórios periódicos, revisão do sistema em uma outra plataforma de trabalho, para que possa ser avaliado e calibrado, incorporando ao sistema melhorias nos modelos que subsidiam o sistema de gerência de pavimentos.

f) saídas – as saídas de um SGP, ou respostas do sistema, são todas as informações possíveis organizadas ou geradas a partir de análise efetuadas pelo sistema. Podem ser apresentadas em forma de relatórios e/ou informações tabulares, gráficas ou mistas, contendo as mais variadas informações sobre as condições atuais da rede, condições previstas para um determinado período no futuro, serviços necessários e previstos, orçamentos e programas de tarefas e síntese da condição da rede (estruturais e/ou funcionais). Estas informações subsidiarão o tomador de decisão na escolha das atividades a serem implementadas.

g) treinamento e pesquisa: a pesquisa e o treinamento são componentes auxiliares, mas imprescindíveis a um SGP. Através de estudos específicos, a pesquisa procura dar respostas aos problemas técnicos, comportamento de materiais, etc. A pesquisa gera conhecimento pertinente a assuntos ligados ao SGP e, através do treinamento, há a transmissão do conhecimento, sempre procurando atingir um nível adequado de informação entre os técnicos.

2.3.1.2. SGP em nível de projeto

O SGP em nível de projeto possui os mesmos componentes básicos do SGP em nível de rede. A diferença está na coleta de dados e no detalhamento das informações sobre as condições do trecho que, no SGP em nível de projeto, ocorrem de forma mais intensa e com maior profundidade, permitindo, assim, a análise mais detalhada do pavimento avaliado. Com relação ao planejamento, o SGP em nível de projeto segue o planejamento previsto em nível de rede, onde a intervenção a ser executada tem como restrição os recursos financeiros alocados após análises em nível de rede (MOREIRA, 2003).

2.3.2. Custo/benefício

Com relação a custos e benefícios de um sistema de gerencia de pavimentos, Moreira (2003) revelou que a agência responsável pela tomada de decisão deve analisar de forma qualitativa os custos e os benefícios da implantação de um SGP, baseando-se nas suas características de gerenciamento da malha, do sistema a ser implementado e de recursos financeiros disponíveis para a introdução e manutenção do sistema em questão. Os custos de um sistema de gerência de pavimentos estão diretamente ligados à sua implementação e manutenção e os principais benefícios advindos desse começo de um SGP no órgão gestor responsável pela tomada de decisão são:

- i) auxiliar o órgão responsável pela tomada de decisão;

- ii) fornecer informações precisas para análises das condições da rede de pavimentos em vários níveis de gerenciamento (em nível de rede e de projeto);

- iii) analisar, orçar e administrar recursos em vários níveis de gerenciamento, oferecendo melhores alternativas para alocação de recursos de acordo com as necessidades;

- iv) fornecimento e avaliação de várias estratégias de reabilitação e manutenção da malha viária.

A deterioração natural devida à ação das intempéries, em conjunto com a ação do tráfego sobre o pavimento, fazem com que as condições de serventia do mesmo diminuam. Com isso, intervenções técnicas são necessárias para a manutenção das condições de serventia em patamares desejados. De acordo Moreira (2003) caso essas intervenções não ocorram, inevitavelmente ocorrerá a necessidade de reconstrução do pavimento, que é a situação mais onerosa possível.

2.3.3. Importância do Sistema de gestão de pavimentos para estradas florestais

As estradas florestais têm um papel de grande relevância no desenvolvimento econômico e social do país. Elas geralmente surgem a partir de trilhas que seguem as curvas naturais do terreno que, com o decorrer do tempo e o aumento do volume de tráfego evoluem para uma geometria transversal e longitudinal um pouco melhor definida, porém ainda rudimentar. Geralmente são constituídas por solo local. Não apresentam revestimentos de concreto asfáltico, cimento Portland ou qualquer tipo de tratamento superficial. Como a grande maioria dessas estradas não apresenta um sistema de drenagem, é de se esperar que em épocas de chuva ocorram maiores dificuldades em se trafegar nessas vias.

Segundo Moreira (2003) enquanto que uma estrada pavimentada, em função do projeto, sofre mudanças nas condições superficiais num período de 5 a 20 anos, uma estrada não-pavimentada isso ocorre por volta de 1 a 2 anos. Estradas com essas características necessitam da implementação de um sistema de gerência, de tal forma que haja um programa contínuo de manutenção e reabilitação da malha viária. Com a implementação deste sistema, abre-se um leque de perspectivas de soluções que possam garantir uma adequada funcionalidade, com segurança e qualidade para seus usuários durante todo o ano, a um custo financeiro e ambiental bem reduzido. A elaboração do projeto de estradas florestais não acompanha os métodos de estradas públicas, em virtude do seu alto custo de implantação, pois às vezes o valor do material lenhoso retirado pode ser insuficiente para amortizar o investimento realizado. Assim, devidos às peculiaridades desse tipo de pavimento, torna-se necessário o desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Pavimentos voltados exclusivamente para a área florestal visando atender aos interesses das empresas que operam nesse setor e aos usuários respeitando as normas rodoviárias vigentes desenvolvendo índices de defeitos próprios, relacionados aos problemas exibidos por este pavimento.

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta de dados

Empregou-se o método de Redes Neurais Artificiais e baseou-se nas intrínsecas relações entre os defeitos presentes em estradas florestais de duas grandes empresas do setor florestal brasileiro, uma localizada na região norte de Minas Gerais e a outra na região norte da Bahia.

Foram utilizadas uma trena de 50 metros para delimitar o comprimento de cada uma das 80 unidades amostrais dispostas em 2 km de estrada e duas trenas pequenas, além de régua e prancheta para anotar as medidas dos defeitos e numerar as unidades amostrais e os defeitos foram medidos no período de 11 até 18 de Fevereiro de 2008 na primeira empresa e de 09 até 16 de Março de 2008 na segunda empresa.

3.2. Primeiro procedimento

Primeiramente foram coletados dados sobre quantidade e severidade dos sete defeitos (seção transversal imprópria, drenagem lateral inadequada, corrugação, excesso de poeira, buracos, trilha de roda e perda de agregados) que foram analisados pelo método objetivo denominado ICRNP por ser o mais aplicado aos defeitos principais utilizando primeiramente um formulário que se

encontra no Anexo 2 que juntamente com as Figuras do Anexo 1 permitiu a obtenção de uma classificação de cada trecho da estrada analisada, classificando as condições da estrada de péssimo a excelente pelo método ICRNP.

Para efeito comparativo foram analisados os mesmos defeitos pelo método subjetivo denominado de GPM aonde foi possível visualizar as condições das estradas comparando-se as estradas de péssimo a excelente em cinco pontos.

Foi realizada uma contagem manual do tráfego existente no local durante as duas semanas de coleta nas duas empresas, para depois com ajuda do software Excell e de um programa de Redes Neurais Artificiais procederem à análise dos dados comparando-se com os resultados obtidos pelo método desenvolvido por EATON et al. (1987 apud MOREIRA, 2003).

3.2.1. Método objetivo - ICRNP

A determinação do ICRNP foi através da medida em um trecho experimental de defeitos encontrados em estradas florestais que baseadas em valores dedutíveis. Esse valor dedutível varia em números que oscilam de 0 até 100, onde 100 (cem) indica que o problema presente não tem impacto na rodovia e 0 (zero), seria um número máximo e que o defeito em questão já comprometeu toda a rodovia ou o trecho estudado.

Para se calcular esse índice, foram seguidos os seguintes passos:

► Para cada defeito separado, calculou-se a densidade de cada um deles, exceto para o defeito excesso de poeira.

$$\text{Densidade} = \frac{\text{quantidade de defeitos} \times k \times 100}{\text{área da unidade simples (m}^2\text{)}}$$

Onde k é um coeficiente para correção de unidades métricas, cujo valor para cada tipo de defeito encontrado está apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 – Valores de k (coeficientes para correção)

Tipo de defeito	Valor de K
seção transversal imprópria	3,281
drenagem lateral inadequada	3,281
corrugação	1,000
excesso de poeira	Não se calcula a densidade
buracos	10,764
trilha de roda	1,000
perda de agregados	3,281

Fonte: BAESSO e GONÇALVES (2003).

Com o valor da densidade de cada defeito, achou-se o valor-dedução correspondente, à partir de curvas de níveis de severidade existentes para cada tipo de defeito, que se encontram apresentadas no Anexo 1, que ao somar origina-se o valor-dedução total (TVD). Pegando-se os defeitos com valor-dedução maior que 5 temos o valor “q”. Com o valor-dedução total e o valor “q” encontrou-se o índice de condição de rodovia não pavimentada (ICRNP), obtidos de cada trecho estudado obedecendo a uma escala numérica variando de 0 (zero) a 100 (cem) que indica a integridade da rodovia que é apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos trechos da estrada segundo ICRNP

ICRNP	Classificação
0	Intransitável
10	Péssima
25	Muito ruim
40	Ruim
55	Regular
70	Bom
85	Muito bom
100	Excelente

Fonte: (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

A classificação das estradas florestais foi baseada no quadro 3 que é em função do volume médio diário de tráfego.

Quadro 3 - Classificação das estradas florestais em função do (VMD), volume médio diário de tráfego

CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS		
Categoria I	VDM > 200 veículos dia	ICRNP 70 a 100
Categoria II	VDM = 100 a 199 veículos dia	ICRNP 55 a 70
Categoria III	VDM = 50 a 99 veículos dia	ICRNP 40 a 55
Categoria IV	VDM = 0 a 49 veículos dia	ICRNP 25 a 40
Rodovia Comprometida		ICRNP 0 a 25

Fonte: BAESSO e GONÇALVES (2003).

No anexo 2, encontra – se os formulários usados para o preenchimento dos defeitos encontrados: onde um formulário foi usado para coletar as observações visuais nos trechos estudados e outro para dados sobre abaulamento de cada trecho estudado com objetivo de hierarquizar as seções que apresentaram os piores defeitos dos tipos seção transversal imprópria e drenagem lateral inadequada.

Abaixo estão citados os defeitos com seus níveis de severidade e formas de medição.

3.2.1.1. Buracos ou panelas

O quadro 4 são apresentados os níveis de severidade para defeito do tipo buraco (Oda, 1995):

Quadro 4- Níveis de severidade para o defeito do tipo buraco

Profundidade (cm)	Diâmetro Médio (cm)			
	< 30	30 – 60	60 – 100	> 100
< 5	Baixa	Baixa	Média	Alta
5 – 10	Baixa	Média	Alta	Alta
> 10	Média	Alta	Alta	Alta

Como medir: Os buracos são medidos através de levantamento topográfico, que seria a forma mais precisa e correta, ou por meio de contagem

do número de buracos de acordo com o nível de severidade, como ilustrado na Figura 10. Caso o diâmetro do buraco seja superior a 100 cm, deve-se determinar sua área em metro quadrado e dividi-la por 0,65 para encontrar o número equivalente de buracos.



Figura 10 – Medição de Buraco.

3.2.1.2. Corrugações ou ondulações

Segundo Eaton et al. (1987) e FONTENELE (2001), os níveis de severidade considerados são:

- a) Baixo: profundidades menores que 2,5 cm;
- b) Médio: profundidades entre 2,5 e 7,5 cm;
- c) Alto: profundidades maiores que 7,5 cm.

3.2.1.3. Segregação de agregados

Eaton et al. (1987) e Fontenele (2001), apud NUNES (2003) classificam, para o defeito segregação de agregados, os seguintes níveis de severidade:

- a) Baixo: bermas menores que 5,0 cm de altura;
- b) Médio: bermas entre 5,0 e 10,0 cm de altura;
- c) Alto: bermas maiores que 10,0 cm de altura.

3.2.1.4. Poeira

Conforme Eaton et al. (1987) e Fontenele (2001), apud MOREIRA (2003) os níveis de severidade considerados são:

- a) Baixo: pouca poeira, nuvem fina, não obstrui a visibilidade, altura

menor que 1,0 m;

b) Médio: poeira moderada, nuvem moderadamente densa, obstrui parcialmente a visibilidade, altura entre 1,0 e 2,0 m;

c) Alto: muita poeira, severa obstrução da visibilidade, com altura superior a 2,0 m.

As poeiras são medidas visuais e subjetivas através de observação da nuvem de poeira formada pelo veículo deslocando-se a 40 km/h.

3.2.1.5. Seção transversal inadequada

Segundo Fontenele (2001 apud NUNES, 2003) são considerados os seguintes níveis de severidades:

a) Baixo: superfície praticamente plana, com pouca ou nenhuma ocorrência de defeitos;

b) Médio: superfície em forma de bacia com moderada ocorrência de defeitos;

c) Alto: alta ocorrência de defeitos, com grandes depressões nas trilhas de roda.

A seção transversal inadequada é medida em metro linear por trecho, ao longo da linha central ou paralela a esta.

3.2.1.6. Trilha de roda

Fontenele (2001 apud NUNES, 2003) considera os seguintes níveis de severidade:

a) Baixo: profundidades menores que 5,0 cm;

b) Médio: profundidade entre 5,0 e 10,0 cm;

c) Alto: profundidades maiores que 10,0 cm.

É medido em metro quadrado de área da superfície do trecho.

3.2.1.7. Drenagem lateral inadequada

Eaton et al. (1992) e Usace (1995 apud MOREIRA, 2003) classificam para o defeito drenagem lateral inadequada, os seguintes níveis de severidade:

b) Baixo: pequena quantidade de água empoçada nas valetas ou assoreamento de até 33% da seção de escoamento da valeta, sem evidência de erosão;

c) Médio: quantidade moderada de água empoçada nas valetas ou assoreamento de até 66% da seção de escoamento da valeta. Nesta fase, há pequenas evidências de erosão da borda da estrada;

Alto: grande quantidade de água empoçada nas valetas ou com a seção de escoamento totalmente assoreada. Nesta fase, a erosão da borda da estrada já é visível e cada vez maior, tendo como consequência a diminuição da largura da estrada.

3.2.2. Método subjetivo – MACSPC

O Manual de Avaliação e Classificação da Superfície de Pavimento de Cascalho (MACSPC) ou Gravel Paver Manual (GPM) é um método que possibilita avaliar as condições da estrada visualmente dando notas ao percorrer os trechos a serem analisados. Essas notas são comparadas a uma escala que varia de 1 a 5, tendo as estradas as seguintes condições: 1 - Péssimo; 2 - Ruim; 3 - Regular; 4 - Bom e 5 - Excelente. Para a classificação nestes valores, foram consideradas as condições listadas no parágrafo anterior e as condições gerais e medidas de tratamento que foram abordadas de acordo com os quadros de 5 a 9 segundo (MUTTI,2004):

Quadro 5 - GPM - Classificação: Excelente – Nota: 5

Fatores/Defeitos	Condições
seção transversal	Excelente condição
drenagem	Excelente
espessura de cascalho	Adequada
ondulações, trilha de roda, buracos, agregados Soltos	Nenhum
poeira	Controlada
condições gerais	Nova construção ou reconstrução
manutenção	Requer pouca ou nenhuma manutenção

Quadro 6 - GPM - Classificação: Bom – Nota: 4

Fatores/Defeitos	Condições
seção transversal	Boa
drenagem	Em toda parte
espessura de cascalho	Adequada
ondulações	Leve
trilha de roda, buracos	Nenhum
agregados soltos	Moderado
poeira	Sob condições de seca
condições gerais	Recentemente regularizada
manutenção	Podem ser requerida manutenção de rotina

Quadro 7 - GPM - Classificação: Regular – Nota: 3

Fatores/Defeitos	Condições
Seção transversal	Boa
Drenagem	Valetas presentes em mais de 50 % da pista e alguma necessidade de limpeza de bueiro
espessura de cascalho	Adequada na maioria dos casos, mas necessidade de adição de agregados em poucas localizações para ajudar a corrigir as ondulações ou isolados buracos e ATR.
ondulações	Profundidade de 2.5 – 5 cm, entre 10 – 25% de área
trilha de roda	Nenhuma ou leve (menor que 2,5 cm de profundidade)
buracos	Algum buraco ocasional (menor que 5 cm de profundidade)
agregados soltos	Cerca de 5 cm
poeira	Moderada, obstrução parcial da visibilidade
condições gerais	Apresenta efeitos do tráfego; regularizar para manter; necessidades de algumas melhorias na manutenção de valeta e bueiro e algumas áreas podem necessitar de cascalho adicional
manutenção	Necessidade de regularização e melhoria na drenagem

Quadro 8 - GPM - Classificação: Ruim – Nota: 2

Fatores/Defeitos	Condições
Seção transversal	Pouca ou nenhuma
drenagem	Valetas adequadas em menos que 50% da pista, parte das valetas pode estar preenchida, por mato/vegetação e/ou apresenta erosão e bueiros parcialmente cobertos de entulhos
espessura de cascalho	Algumas áreas (25%) com pouco ou sem agregado
ondulações	Moderada para severa (acima de 7,5 cm) acima de 25% de área
trilha de roda	Moderada (2,5-7,5 cm), de 10-25% de área
buracos	Moderado (5-10 cm), de 10-25% de área
agregados soltos	Severo – acima de 10 cm
poeira	Não especificado
condições gerais	Trafegar com velocidades baixas (menor que 40 Km/h); necessidade de adição de novos agregados; requer construção de valeta e bueiro e manutenção
manutenção	Requer adição de cascalho e maiores melhorias na drenagem

Quadro 9 - GPM - Classificação: Péssimo – Nota: 1

Fatores/Defeitos	Condições
seção transversal	Sem ou estrada encaixada (formato de tigela) com poças em larga escala
drenagem	Valeta pequena e bueiros preenchidos ou danificados
espessura de cascalho	Sem especificação
ondulações	Sem especificação
trilha de Roda	Severo (acima de 7,5 cm), acima de 25% de área
buracos	Severo (acima de 10 cm), acima de 25 % de área
agregados soltos	Muitas áreas (acima de 25%) com pouco ou sem agregado
poeira	Sem especificação
condições gerais	Trafegar é dificultoso e a estrada pode ser fechada a qualquer momento, necessita de completa reconstrução e/ou de novos bueiros
manutenção	Requer reconstrução

3.2.3. Técnica de análise de processo hierárquico (AHP)

É uma ferramenta proposta por Thomas Saaty (1980) sendo uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento

entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida como ilustrado no Quadro 10.

Quadro 10 - Escala de valores AHP para comparação pareada

Importância	Definição e Explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem de maneira igual
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Thomas Saaty (1980).

A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, foi possível determinar um conjunto ótimo de pesos que foram utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

A utilização da AHP foi com intuito de hierarquizar os defeitos nas estradas florestais mostrando a importância de cada defeito e as conseqüências que poderia levar um defeito na estrada causando outros problemas e com isso obteve-se uma equação hierárquica ou de pesos que é muito importante para se trabalhar com redes neurais artificiais. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas comparando aos pares os defeitos formando assim uma hierarquia entre os defeitos desde o mais importante até o menos significativo.

Através de um questionário respondido por pessoas que militam na área de estradas florestais ou não pavimentadas marcando com um x na opção que eles acham mais importante que se encontra no Anexo 3 obteve-se uma hierarquia de importância de defeitos e com auxílio do Quadro 10 pode – se chegar a uma equação que representasse a porcentagem de cada defeito analisado perante aos outros defeitos.

Com a equação dos defeitos que determina a hierarquia de importância dos defeitos têm-se os dados de entrada que são as medidas dos defeitos no campo e os dados de saída que são os pesos, ou seja cada porcentagem de cada defeito multiplicado pela quantidade do problema encontrado em cada unidade amostral com isso entra no programa SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator) que basicamente busca alcançar eficiência e alta flexibilidade no projeto e aplicação de redes neurais, integrados em um só ambiente de simulação. A ferramenta está disponível para diversas plataformas de software e hardware, desde estações SUN rodando SunOS até PCs com sistema Linux e Windows e permite gerenciar a implementação de uma rede neural através de um painel principal chamado SNNS Manager, até o resultado final que a rede chama de arquivo res ilustrado nas figuras abaixo. Este painel possibilita o acesso à todas as funcionalidades disponíveis no SNNS. Embora sua interface seja gráfica e de fácil utilização, um conhecimento básico de redes neurais é recomendado, desde que a terminologia contida na ferramenta é altamente técnica.

3.3. Segundo procedimento

Segundo Nunes (2003) após a obtenção dos dados, por meio da execução das etapas do Primeiro Procedimento Experimental, proceder-se-á a este segundo segmento que é composto pelas partes descritas a seguir:

3.3.1. Ordenação das variáveis de entrada e saída

A fim de se utilizar os dados coletados como variáveis de um modelo de RNA são necessárias a verificação da existência de qualquer relação entre os padrões de entrada com os que se deseja estimar. Para este estudo, o processo se deu pela observação do contexto do modelo de previsão proposto, identificação dos seus atributos gerais e pelo estabelecimento da relação dos mesmos com os indicadores de ordenamento de alternativas para o problema em questão. Nestas condições foram consideradas:

a) as variáveis de entrada – que foram definidas a partir da premissa de que os defeitos mais comuns em estradas florestais têm como causas principais a falta de capacidade de suporte do subleito, o mau desempenho da superfície de rolamento e a deficiência do sistema de drenagem. São elas: drenagem, tipo de seção transversal e outras que possam surgir nas unidades amostrais;

b) variáveis de saída – foram coletadas por ordem crescente de prejuízo na via e são as seguintes: poeira, segregação de agregados, ondulações, buracos, afundamentos de trilhas de roda, seção transversal inadequada, drenagem lateral imprópria e outros que possam surgir nas unidades amostrais.

3.3.2. Definição de topologias e parâmetros para as Redes Neurais Artificiais

A arquitetura de rede utilizada foi a de MLP, multilayer perceptron, e a função de ativação foi do tipo sigmoideal, devido a sua freqüente utilização nos problemas de classificação de padrões na área de transportes, onde entramos com sete entradas que representam os sete defeitos mais importantes nas estradas florestais, que juntos se interagem agravando ou gerando mais problemas. Foram utilizados no treinamento da rede 25 unidades amostrais coletados anteriormente para depois usarmos 80 dados representados por unidades amostrais de 50 metros aonde em cada uma dessas, foram medidos os sete defeitos principais de cada uma das duas empresas em que foi feita a pesquisa que são os neurônios de entrada ou input do programa SNNS.

3.4. Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado em áreas pertencentes a duas grandes empresas florestais onde também foram realizadas análises das estradas para aplicação dos métodos objetivo e subjetivo (ICRNP e GPM) respectivamente. Foram percorridos cerca de 2 km da malha rodoviária florestal em ambas as empresas. Esse trecho foi dividido em seções que foram divididas em unidades amostrais de 50 metros de comprimento cada, para a coleta dos defeitos

existentes e geração de um banco de dados usando um programa de RNA's de modo que foi possível gerir e determinar qual unidade amostral precisaria de uma recuperação mais urgente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de processo hierárquico

Primeiramente após a coleta de dados defeitos em estradas florestais e calculado o índice de condição de rodovia não pavimentada para as unidades amostradas nas duas empresas florestais processou-se a Análise de Processo Hierárquico e seus resultados são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Percentual de cada defeito nas estradas florestais avaliadas

	sti	dli	tr	bu	co	Pa	po	média
sti	0,3195	0,3497	0,2712	0,3653	0,2602	0,2353	0,2449	0,2923
dli	0,3195	0,3497	0,4068	0,3653	0,4337	0,2647	0,3265	0,3523
tr	0,0799	0,0583	0,0678	0,0457	0,0867	0,1176	0,0816	0,0768
bu	0,0799	0,0874	0,1356	0,0913	0,0867	0,1471	0,1633	0,1130
co	0,1065	0,0699	0,0678	0,0913	0,0867	0,1471	0,1224	0,0988
pa	0,0399	0,0389	0,0169	0,0183	0,0173	0,0294	0,0204	0,0259
po	0,0532	0,0437	0,0339	0,0228	0,0289	0,0588	0,0408	0,0403

Os resultados mostram na coluna das médias uma percentagem de importância de cada defeito que é o somatório das multiplicações da quantidade de cada defeito analisado pela percentagem desse problema perante os outros, resultada da ponderação dos defeitos descrita como:

$$H = 0,29\% \text{ sti} + 0,35\% \text{ dli} + 0,11\% \text{ bu} + 0,10\% \text{ co} + 0,08\% \text{ tr} + 0,04\% \text{ po} + 0,03\% \text{ pa.}$$

aonde:

H = Valor dos defeitos ponderados, ou seja, a hierarquia de importância dos defeitos;

sti = Seção Transversal Inadequada;

dli = Drenagem Lateral Imprópria;

tr = Trilha de Roda;

bu = Buraco;

co = Corrugação;

po = Poeira;

pa = Perda de Agregado.

Percebe-se que os defeitos como Seção Transversal Inadequada e Drenagem Imprópria são os mais significativos nas estradas florestais, pois juntos representam cerca de 64% dos problemas encontrados nas estradas florestais.

A inexistência de um sistema de drenagem na pista de rolamento pode ser verificada facilmente pela presença de valetas cobertas por vegetação, ou entulhos, provocando empoçamentos não transportando e nem direcionando adequadamente a água, acarretando outros defeitos como afundamento de trilhas de roda, buracos e etc..., com o passar do tráfego, além de contribuir negativamente para a segurança e conforto da viagem interfere diretamente no custo operacional e na governabilidade dos veículos.

A seção transversal adequada tem como principais funções, não deixar as águas sobre a superfície estradal, permitindo uma drenagem eficiente para os dispositivos de captação e escoamento, impedindo a deterioração da estrada além de evitar aparecimento de outros problemas como afundamento

de trilhas de roda, corrugação e buracos, mantendo assim a segurança da pista em questão.

Já problemas como buracos são provenientes de uma plataforma mal drenada provavelmente, ocasionada pela falta de abaulamento transversal que com o tempo e passadas das rodas dos veículos vai piorando e formando verdadeiras panelas na estrada chegando a impedir completamente o tráfego se não for resolvido rapidamente.

O defeito do tipo afundamento de trilha de roda pode ser originado pela deformação permanente do subleito ou camada de revestimento, devido a baixa capacidade de suporte ou quando a drenagem da plataforma é deficiente, e tem uma boa interferência sobre o nível de serventia da estrada e geralmente por serem contínuos ao longo do eixo paralelo da estrada, podendo levar também a retenção de águas sobre a pista sem contar no desconforto da viagem.

A corrugação é um problema que incomoda porque ela se manifesta posicionada em intervalos regulares, na forma de ondulações perpendicularmente ao sentido de fluxo do tráfego, causados pela falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência do sistema de drenagem.

A segregação de agregados é um defeito que ocorre em trechos de solo muito argiloso, com rampas acentuadas, em que foi acrescentado material granular sem compactação adequada. A ação abrasiva do tráfego solta as partículas granulares da superfície de rolamento e, com a passagem dos veículos, os agregados são jogados para fora das trilhas das rodas, formando bermas nas laterais e no centro, entre as trilhas. Pode ocorrer, também, em terrenos planos de regiões onde há falta de material fino ligante, formando o chamado facão.

O defeito do tipo poeira também é importante, mas em menor grau que os anteriores, pois esse problema acarreta a diminuição da condição de trafegabilidade da estrada, mas não impedindo completamente o tráfego pelo fator visibilidade, mas em contrapartida aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes em épocas de seca, então se recomenda nesses períodos o uso de caminhões pipa para molhar a estrada melhorando assim a segurança de quem precisa trafegar nesses trechos.

O excesso de poeira está muito relacionado ao tipo de solo, ou seja, é um problema mais evidente em estradas com solo argiloso, onde existe uma grande quantidade de material solto na superfície ou onde a ação abrasiva do tráfego solta as partículas aglutinantes dos agregados. Em estradas de solo arenoso formam-se pequenas nuvens que se assentam rapidamente, não interferindo na visibilidade dos motoristas. Sua causa se deve à abundância de material fino no leito da estrada, que forma nuvens de poeira na época de seca.

4.2. ICRNP encontrado x ICRNP ideal

A prioridade da manutenção/intervenção foi definida em função do ICRNP e da categoria da rodovia, a qual está diretamente relacionada ao respectivo volume de tráfego médio diário de veículos.

Apartir da interpretação do Quadro 3 que se encontra no item 3.2.1 e com os resultados do ICRNP obtidos em campo serviu de subsídios para construção do Quadro 12 com resultados obtidos nos levantamentos realizados nas duas empresas florestais.

Quadro 12 – ICRNP encontrados nas estradas florestais das duas empresas.

Empresa	Unidades amostrais	Ramo	Volume de tráfego	Categoria	ICRNP ideal	ICRNP encontrado
A	1-20	Ramo 1	0 a 49 Veículos/dia	Categoria IV	25 a 40	13
A	21-40	Ramo 2	0 a 49 Veículos/dia	Categoria IV	25 a 40	18
B	41-60	Ramo 1	50 a 99 Veículos/dia	Categoria III	40 a 55	8
B	61-80	Ramo 2	50 a 99 Veículos/dia	Categoria III	40 a 55	4

Com base no Quadro 12, as estradas pertencentes à empresa A por possuir volume médio diário de tráfego (VMD) igual a 45 veículos/dia, enquadram-se na categoria IV. As estradas pertencentes à empresa B têm seu volume médio diário de tráfego (VMD) igual a 50 veículos/dia, enquadrando-se na categoria III. Por apresentar um tráfego maior de veículos nas estradas da empresa B esperava-se encontrar condições melhores de trafegabilidade, mas não foi o que foi comprovado pelo estudo pois as estradas da empresa B tem um ICRNP inferior aos da empresa A. Percebe-se que os valores do ICRNP

obtidos nas duas empresas estão bem abaixo das faixas de ICRNP exigidos para o volume de tráfego de cada uma das categorias em que as estradas se enquadram (25 a 40 e 40 a 55, respectivamente). A prioridade de manutenção na empresa A será para o ramo 1 que engloba as unidades em piores estado de conservação, ou seja, muito pobre. Justifica-se esse resultado inferior do ramo 1 em relação ao 2 pelo fato de ter quatro unidades amostrais classificadas como muito pobre contra nenhuma no ramo 2 da empresa A.

Já nas duas estradas da empresa B foram encontrados valores muito inferiores ao ICRNP requerido por isso necessitam de uma manutenção urgente, sendo que no ramo 2, o ICRNP foi à metade do ramo 1, devido ao fato de terem sido encontradas, nestas últimas vinte unidades, situações classificadas como muito pobre em 50% das unidades analisadas e por apresentarem os mais baixos valores de ICRNP, inclusive contando com a unidade em pior estado de conservação, a de número 68 com defeitos que comprometem o desempenho operacional da estrada, tendo sido classificados pelos níveis alto e médio de severidade.

4.3. Resultados dos métodos GPM X ICRNP X RNA

As Figuras 11 e 12, 13 e 14 são ilustradas a comparação dos resultados encontrados com os métodos GPM X ICRNP e ICRNP x RNA divididos em empresa A e B respectivamente enfocando a importância dos métodos objetivos que foram aplicados para avaliar as condições das estradas florestais.

Resultados em que são encontrados altos níveis de severidade de problemas como seção transversal inadequada e drenagem lateral imprópria geram pesos mais altos influenciando assim um resultado pior dessas unidades com uso das redes neurais artificiais, como apresentados nas Figuras 11 e 12.

Nas estradas da empresa A e B foram também medidas a largura entre os dois lados da pista e na empresa A houve uma variação de diferentes larguras entre 4,50 e 10,50 m e na empresa B houve variação menor, encontrando-se valores entre 3,20 e 5,30 m, apesar de ter encontrado uma variação menor, nessa empresa os problemas são maiores a começar pela maioria das unidades estarem abaixo do mínimo exigido de largura que é de 4 m impedindo assim que possa existir um fluxo ideal de tráfego de caminhões

em dois sentidos além do fato de na construção das estradas fazerem com que elas tenham uma pequena convexidade no centro, o que resultará em uma melhoria do escoamento de água minimizando assim o aparecimento de defeitos.

Como a escolha da ferramenta SNNS que utiliza RNA's é em função dos recursos apresentados pela ferramenta que possui grandes facilidades no que tange a simulação, visualização e também implementação das redes foi possível desenvolver um sistema de gestão de pavimentos de estradas florestais tendo nas mãos o momento necessário para entrar com a manutenção da estrada ou de uma unidade que estiver em pior estado de conservação . O processo de automatização de treinamento também é uma característica positiva. Não foram explorados todos os recursos desta ferramenta no andamento do experimento, pois o trabalho exploratório da mesma não permitiria a conclusão deste trabalho em tempo para confecção desta tese. Entretanto, a facilidade de uso, compreensão e suporte para diversas plataformas de hardware e software, essa ferramenta é uma ótima candidata para ser utilizada como instrumento didático em disciplinas introdutórias de redes neurais artificiais e programas de manutenção de estradas.

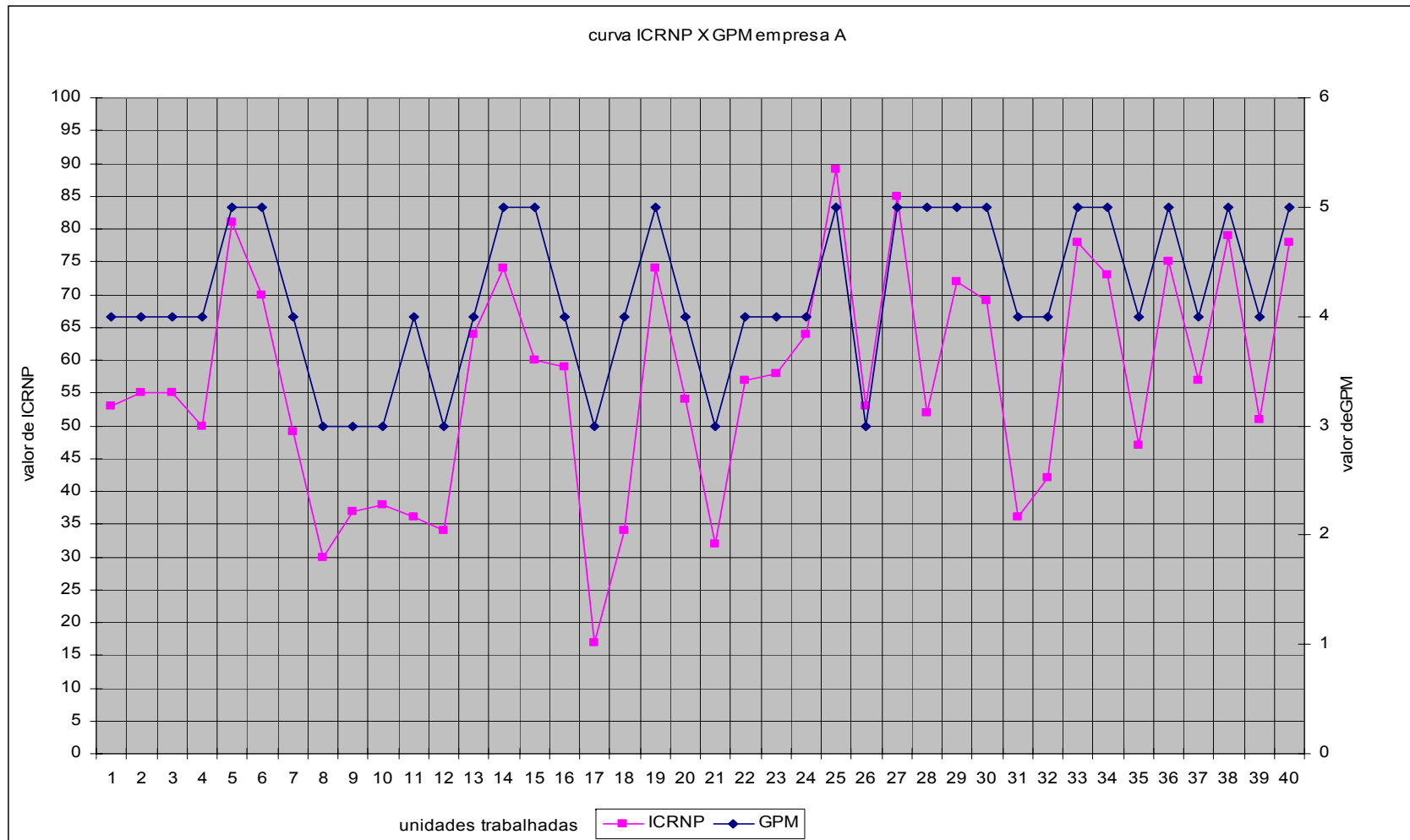


Figura 11 – Variação do ICRNP e GPM em função das unidades trabalhadas (Empresa A)

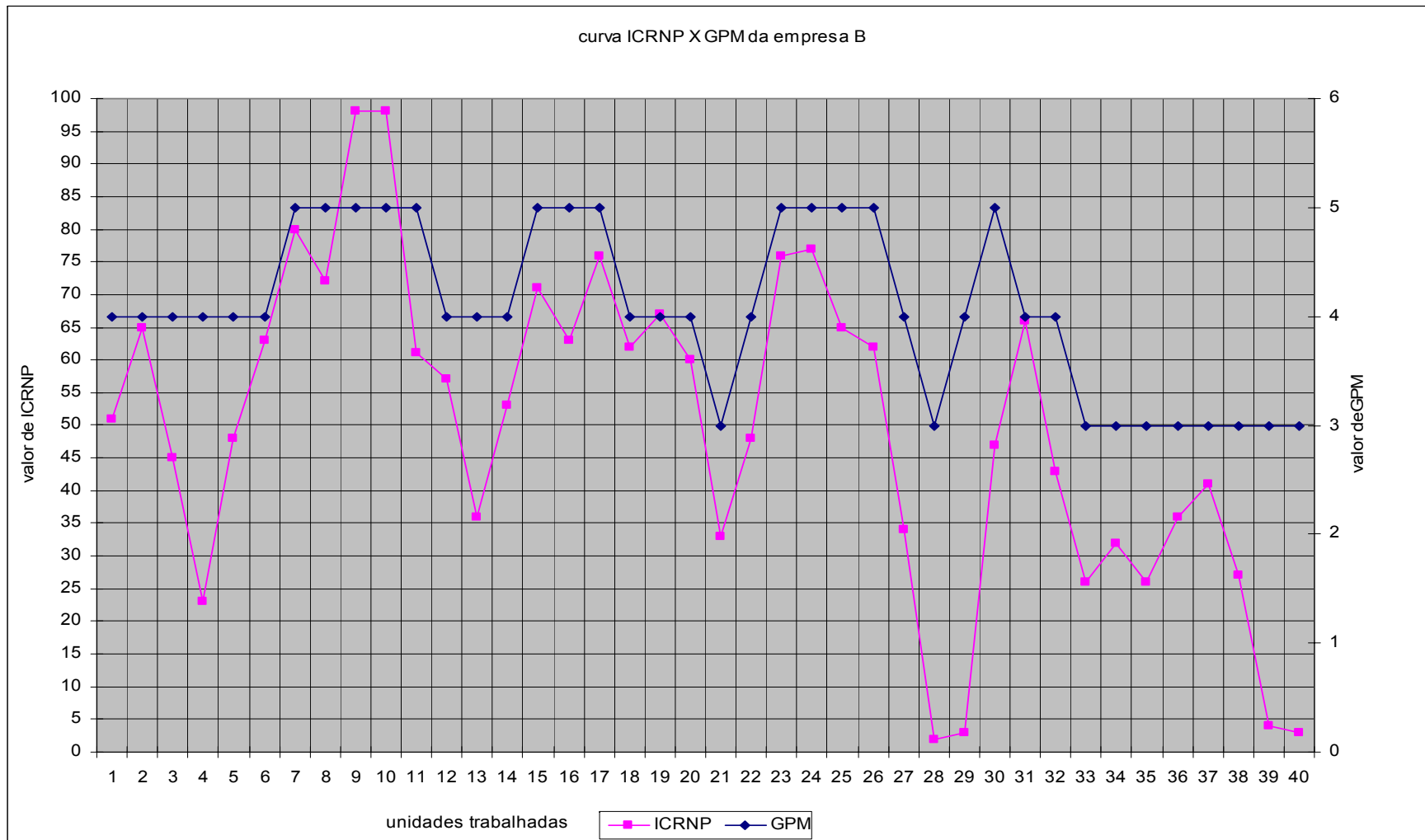


Figura 12 – Variação do ICRNP e GPM em função das unidades trabalhadas (Empresa B)

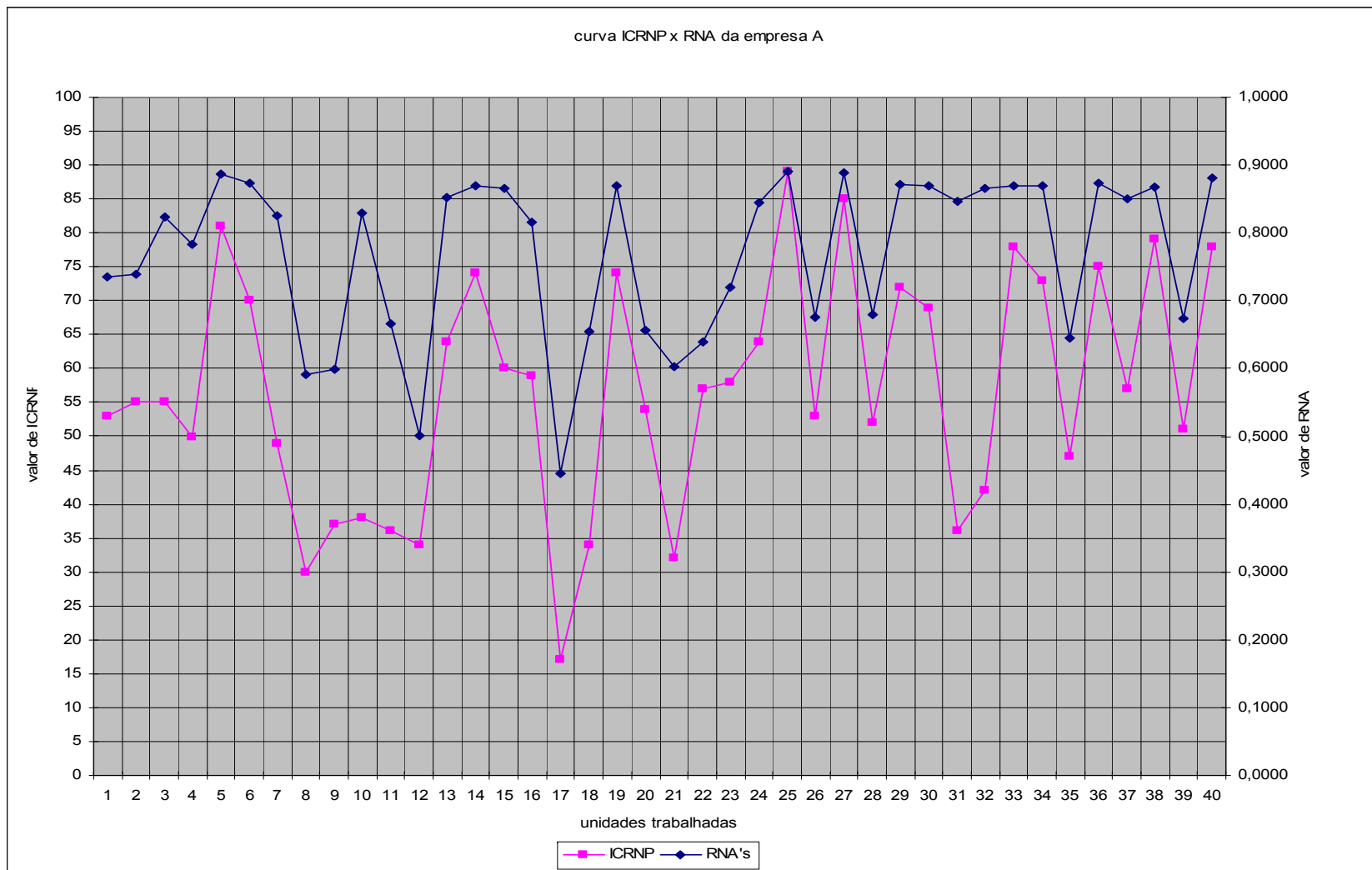


Figura 13 – Variação do ICRNP e RNA em função das unidades trabalhadas (Empresa A)

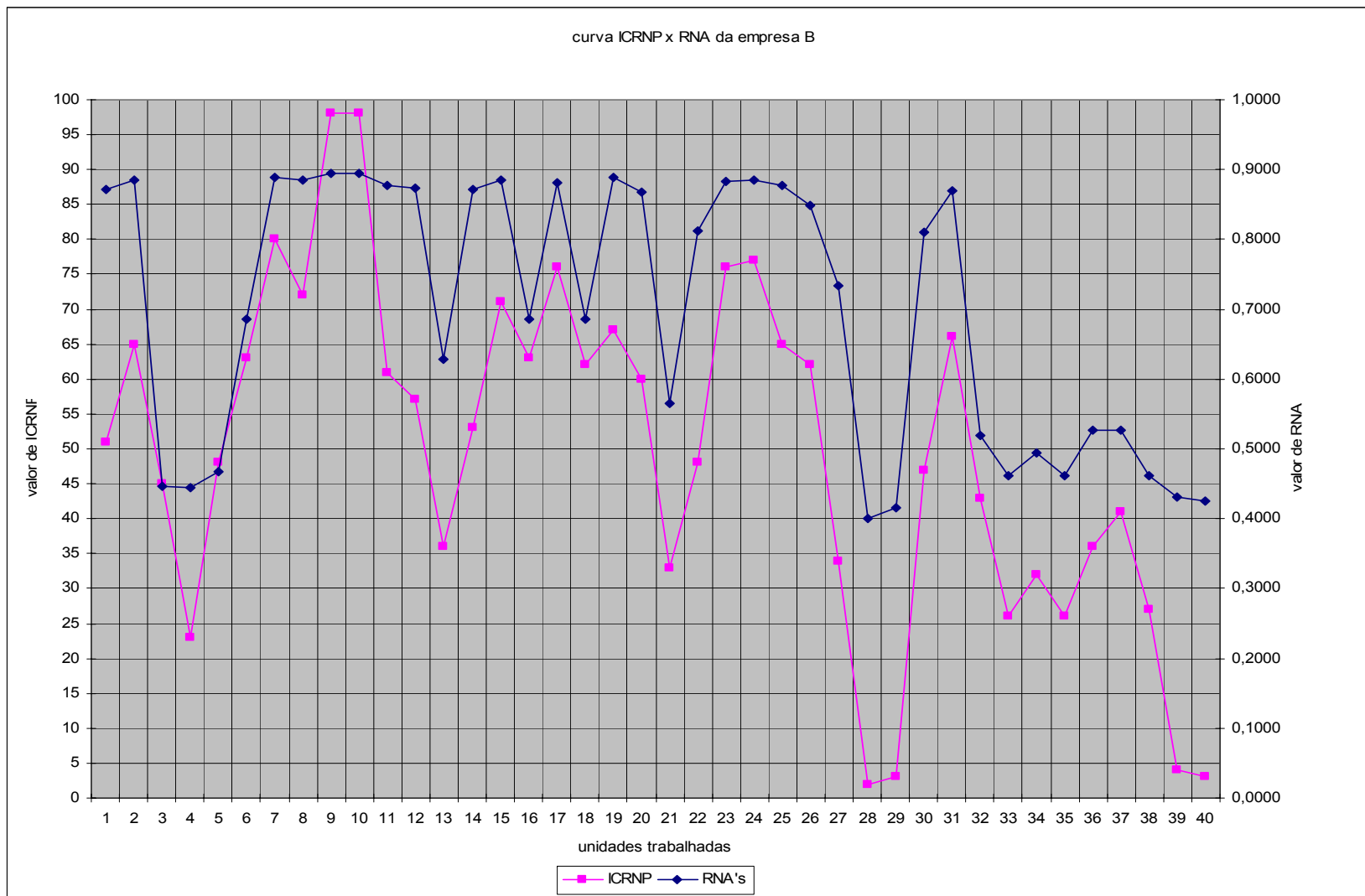


Figura 14 – Variação do ICRNP e RNA em função das unidades trabalhadas (Empresa B)

Pode-se observar nas Figuras 11 a 14 que pela avaliação proposta por EATON et al, (1987), os defeitos encontrados nas estradas variam de 2 a 98 de ICRNP e com a RNA varia de 0,4005 á 0,8950 apresentando assim uma amplitude menor dos resultados com as redes mostrando serem mais precisas, apesar do comportamento das duas curvas serem semelhantes.

4.4. Classificação das estradas em função da trafegabilidade

As figuras 15,16 e 17 ilustram a classificação das condições das estradas de todas as unidades amostrais analisadas pelos métodos GPM, ICRNP e RNA respectivamente.

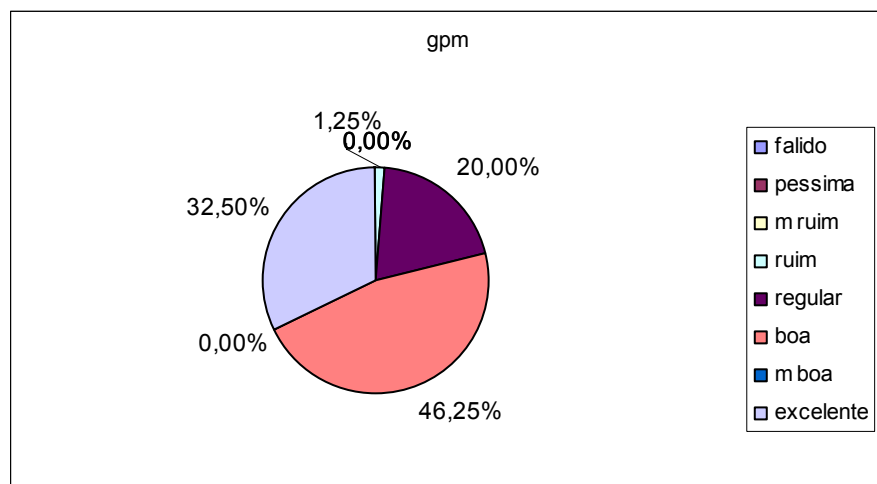


Figura 15 – Classificação das estradas pelo método GPM.

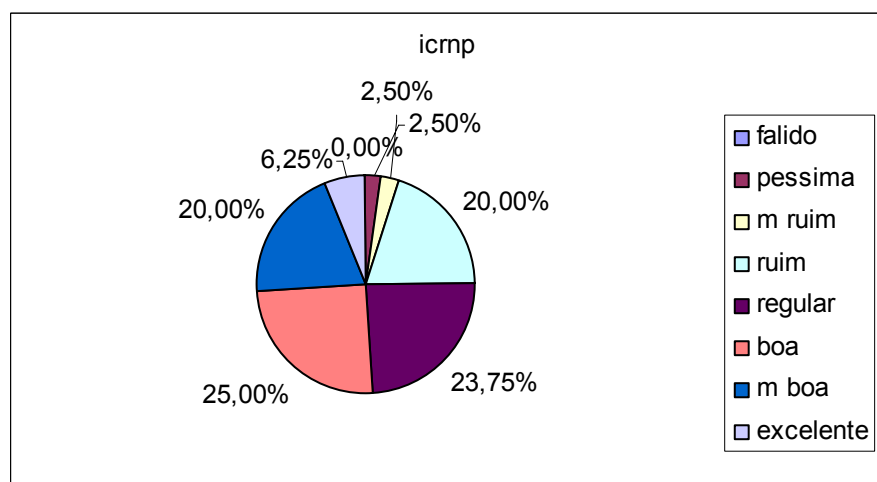


Figura 16 – Classificação das estradas pelo método ICRNP.

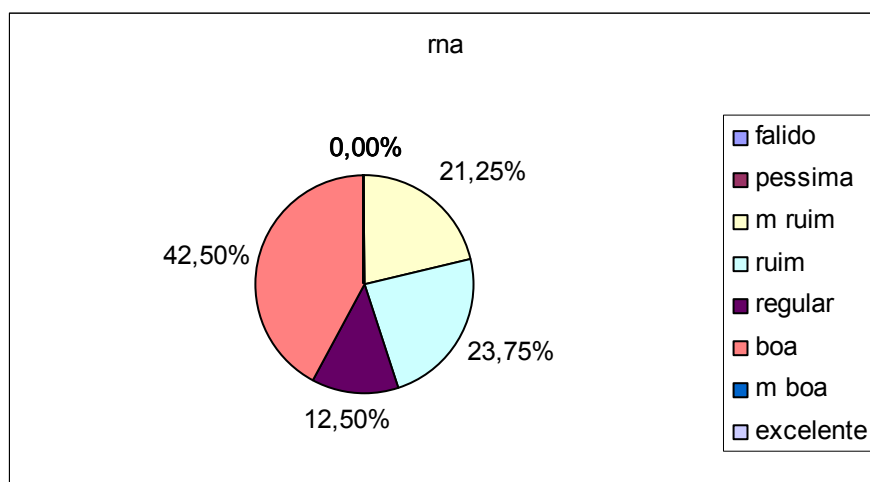


Figura 17 – Classificação das estradas pelo método RNA.

Na comparação com os métodos analisados foi verificado que o método GPM que analisa as estradas de modo subjetivo, não é tão eficiente quanto os métodos objetivos, pelo fato de se basear em observações visuais e não em medições quantificando os defeitos em seus tamanhos, utilizando trenas e réguas como nos métodos objetivos. É possível tal afirmação com base nos resultados de classificações como no total de medições nas duas empresas 46,25% das unidades analisadas foram classificadas como boas e 32,50% como excelentes pelo método subjetivo. E em contrapartida, o método objetivo utilizando o ICRNP obteve como resultado 25% de unidades boas e 6,25% como excelente sendo mais rigoroso. Fazendo uma análise criteriosa, como exemplo, a maioria das unidades classificadas como boas em estado de conservação pelo método GPM, pelo ICRNP são classificadas como regular como ilustrados nas figuras 15 e 16.

Utilizando-se um programa denominado de SNNS que utiliza redes neurais artificiais (RNA's) obteve-se resultados mais confiáveis e precisos do que os métodos analisados anteriormente como, por exemplo, encontramos 42,50% das unidades em estado bom de conservação e 23,75% em estado ruim como ilustrado na figura 17 necessitando de uma manutenção mais urgente. O fato de termos muitas unidades de estradas classificadas como estado regular também deve se ao fato de a empresa antes de entrar com as máquinas para realizar o carregamento de madeira e os caminhões para o

transporte realiza uma manutenção geral na estrada, e após isso entra com o transporte. Devido ao fluxo elevado e freqüente de caminhões pesados do tipo rodotrem e tritrem, mais os ônibus de transporte de trabalhadores e passageiros da comunidade que vive em torno das áreas das empresas e dos veículos de fazendeiros, as estradas vão se deteriorando mais rapidamente nessas unidades aonde foram realizadas recentemente manutenção do que nas outras que têm menos tráfego.

A unidade em pior estado de conservação tanto para os métodos denominados como GPM, EATON e com as RNA's foi a de número 68 classificada como regular pelo método GPM, péssima pelo método do EATON, e muito pobre utilizando RNA.

A unidade em melhor estado de conservação foi a de número 50 classificada como excelente pelos métodos GPM e EATON, e boa pelas RNA's apresentando assim uma melhor condição de trafegabilidade.

Na unidade de número 68 foram encontrados defeitos graves de drenagem, seção transversal, poeira, buracos e trilhas de roda, já a melhor unidade, a de número 50 só foi detectada poeira e mesmo assim em níveis baixos de severidade mostrando que não precisa de uma intervenção tão rápida quanto na unidade 68.

Na comparação dos resultados do método utilizando as RNA's como, por exemplo, tomando-se a seção de número 79 por exemplo, onde foram encontrados problemas como seção transversal e drenagem ineficiente em níveis médios e presença de buracos e trilhas de rodas em níveis elevados de severidade, com outras que foram encontrados apenas poeira e buracos, como na unidade 30, nota-se a importância desses defeitos de maiores pesos citados acima, resultando em uma queda do índice de classificação da estrada de 0,4316 para 0,8700 classificadas como péssima e boa respectivamente, dando 43,84 pontos percentuais de diferença pelas redes neurais artificiais.

Quando se comparam o melhor e o pior resultado, utilizando as unidades 50 e a 68 pelo método do ICRNP, encontra-se um índice de 98 e 2 respectivamente resultando em 96 pontos de diferença.

Quando se compara o melhor e o pior resultado, utilizando as RNA's, encontrou-se um índice de 0,8950 para a melhor e 0,4005 para a pior unidade

resultando-se em 0,4945 pontos de diferença, lembrando-se que as RNA's utilizam valores de 0 a 1.

É recomendável que se realizem mais pesquisas nessa área com ferramentas computacionais como esta que utiliza redes neurais artificiais e outras para que cada vez mais possam ser melhoradas as condições de trafegabilidade de nossas estradas reduzindo assim os custos com transportes e aumentando a eficiência e segurança.

5. CONCLUSÕES

- a) O método objetivo foi melhor nessas condições para avaliar os trechos experimentais de estrada florestal mesmo apresentando um pouco de subjetividade pelo fato de serem quantificados e medidos.
- b) O uso de RNA's garantiu resultados mais precisos e confiáveis nos trechos de unidades avaliados neste trabalho.
- c) A RNA, por utilizar da interatividade dos defeitos da estrada florestal, propicia uma melhoria da tomada de decisão nas atividades de manutenção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F.L.R. **Estradas Rurais - Técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis DER, 2003. 236 p.

BREGA, J. R. F. **A utilização de redes neurais artificiais em um sistema de gerência de pavimentos**. São Carlos: EESC-USP, 1996. 234 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1996.

CASSA, J. C. S.; CUNHA NETO, E. D. Previsão de propriedades de materiais de pavimentação através de redes neurais artificiais. In: Anais da 30ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO; 1996. Salvador, BA. **Anais...** Salvador: Outubro, 1996, p.2041-2064.

CORREIA, J. A. B. **Concepção de um sistema de gerência de manutenção para estradas não-pavimentadas com o uso de um sistema de informações geográficas**. Fortaleza, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará. 2003. S.P.

COUINHO NETO, B. **Redes neurais artificiais com o procedimento para retroanálise de pavimentos flexíveis**. São Carlos: EESC-USP, 2000. 119p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2000.

DARONCHO, C. **Contribuição à análise de qualidade de viagem e suas relações com a distribuição de defeitos em segmentos de rodovias**. São Carlos: EESC-USP, 2001. 57p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2001.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER. **Manual básico de estradas vicinais**. São Paulo, 1987.

DOMINGUES, F. A. A. Avaliação de pavimentos: Construção de índices de defeito In: 27ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. São Paulo-SP. **Anais...** São Paulo: Outubro, 1995, p. 84-122.

DOUGHERTHY, M. A. review of neural networks applied to transport. **Transportation Research Part C**, v.3, n.4, p.247-260, 1995.

EATON, R. A.; GERARD, S.; CATE, D. W. Rating unsurfaced roads – a field manual of measuring maintenance problems. **Special Report**. U. S. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory. p. 87-115, 1987.

EATON, R. A.; GERARD, S.; DATILLO, R. S. A Method for Rating Unsurfaced Roads – **Transportation Research Board**, n. 1434, p.85-91, 1987.

FERNANDES, D. C. M. **Viabilidade do uso de alcatrão de madeira de eucalipto na estabilização de solos residuais para fins rodoviários**. Viçosa: UFV, 2000. 124p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FONTENELLE, H. B. **Estudo para adaptação de um modelo de classificação de estradas não-pavimentadas às condições do município de São Carlos/SP**. São Carlos: EESC-USP, 2001. 227p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 2001.

HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. IEEE Press, Toronto, 1994. 88p.

HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. Prentice Hall. 2nd edition. Toronto. 1999. 900p.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e práticas**. 2 edição. 900p. Traduzido: Paulo Martins Engel. Ed. Bookman. Porto Alegre – RS. 2001.

JAMSA, H. **Maintenance and Rating of the Condition of Gravel Roads in Finland**. Transportation Research Record 898, TRB, National Research Council, Washington, D.C., EUA, 1983, pp. 354-356.

LOESCH, C.; SARI, S.T. **Redes Neurais Artificiais.: Fundamentos e Modelos**. Blumenau-SC: FURB, 1996. 166p.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário**. Curitiba: UFPr, 1989. 188p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 1989.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal**. Curitiba: UFPr, FUPEF, 1986. 157p.

MACHADO, C.C. **Planejamento da colheita**. In: Colheita Florestal, Viçosa, Editora UFV, 2002. 600p.

MARCON, A. F. **Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. São José dos Campos: ITA, 1996. Tese (Doutorado) – ITA, 1996. S.P.

McCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, n.5.p.115-133. 1943.

MOREIRA, F. E. B. **Um modelo de avaliação da evolução geométrica das patologias em vias não-pavimentadas: aplicação ao caso do município de Aquiraz**. Fortaleza: UFCE, 2003. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará. 2003.

MUTTI, F.F. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não pavimentada**. Campinas: UNICAMP, 2004. 248p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Estadual de Campinas, 2004.

NISHIYAMA, E. S.; DOMINGUES, F. A. A. Atualização de custos e benefícios, para uso em sistemas de gerência de pavimentos. In: 6ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. **Anais...** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Laboratório de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes. LDTT/PTR/USP. 1995. p.390-406.

NUNES, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso das redes neurais artificiais: Trecho de Aquiraz – CE**. Fortaleza: UFCE, 2003. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará. 2003.

ODA, S.; SÓRIA, M. H. A.; JÚNIOR, J. L. F. Caracterização e levantamento da condição das estradas municipais para fins de gerência de vias. In: 7ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. **Anais...** São José dos Campos: Outubro. Vol.1, p 311-326. 1996.

ODA. S. **Caracterização de uma rede neural municipal de estradas não-pavimentadas**. São Carlos: EESC-USP, 1995. 186p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, R.J.; MACHADO, C.C.; CARVALHO, C.A.B.; LIMA. D.C. Metodologias de previsão de defeitos em estradas florestais e levantamento da malha florestal. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2007. Uberlândia-MG. **Anais...** Uberlândia, 2007. p. 393-409.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, OECD e INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND

DEVELOPMENT, BIRD – WORLD BANK. **Road Monitoring Manual for Maintenance Management**. Volume1: Manual for Developing Countries. Paris, 1990. 115 p.

RIVERSON, J. D. N.; SINHA, K. C.; SCHOLER, C. F.; ANDERSON, V. L. Evaluation of subject rating of unpaved county roads in Indiana, **Transportation Research Record**, n. 1128, 53-61 pp., USA, 1987.

RODGHER, S. F.; FABBRI, G. T. P.; CARVALHO, A. C. P. I. A utilização de redes neurais artificiais para classificação de solos tropicais. XI CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES – ANPET. **Anais...**, v.1, p.51-59, Rio de Janeiro. 1997.

RODGHER, S. F.; ODA, S. Previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas através do uso de redes neurais artificiais. I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO. **Anais...** V.2, p. 617-626, Rio de Janeiro. 1997.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; JÚNIOR, F. A.; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra, Manual técnico para conservação e recuperação**. IPT-São Paulo, SP. 1988. 123p.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. Thomas L. Saaty. New York ; London : McGraw-Hill c.1980. 287p.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 174p. 1997.

TAFNER, M.A.; XEREZ, M.; FILHO, W.R. Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação. Blumenau-SC : FURB. 1996. 196p.

UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE . **Road Surface Management System – RSMS**, Workshop Notebook and Reference. Durban, NH, EUA, Maio 2001. In: PWMS Distribution – RSMS01 and SIMS02, 2002. CD-ROM.

USACE. **Unsurfaced Road Maintenance Management**. TM 5-626. Technical Manual. United States Army Corps of Engineers. Headquarters. Department of the Army. Washington, D.C. USA. 1995.

VILLIBOR, D. F.; FORTES, F. Q.; NOGAMI, J. S. Defeitos de pavimentos de baixo custo e sua conservação. In: 28^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 1994. Belo Horizonte-MG. **Anais...** Belo Horizonte: Setembro, 1994. p.1099-1126.

VISSER, A. T.; HUDSON, W. R. Performance, design and maintenance relations for unpaved low-volume roads, In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOW-VOLUME ROADS, **Transportation Research Record**, n. 898, Volume 1, 164-174 pp.; Washington, D. C., USA. 1983.

VISSER, A.T.; VILLIERS, E.M.; HEERDEN, M.J.J.V. **Operational Unpaved Road Management System in the Cape Province of South Africa.** Transportation Research Record 1434, TRB, National Research Council, Washington, D.C., EUA, 1994, pp. 77-84.

VISSER, A. T. **Low Volume Roads – A Total Cost Perspective.** Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv .1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro-RJ, Outubro 1997. pp. 763-782.

VIVIANI, E. **A utilização de um sistema de informação geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não-pavimentadas.** São Carlos: EESC-USP, 1998. 292 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

WALKER, D.M. **Gravel-Paver Manual: Pavement Surface Evaluation and Rating.** Wisconsin Transportation Information Center: Wisconsin, Madison, 1989. 32 p.

Anexos

Anexo 1 : Gráficos utilizados para encontrar os valores dedutíveis de cada um dos defeitos analisados e o valor de q (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

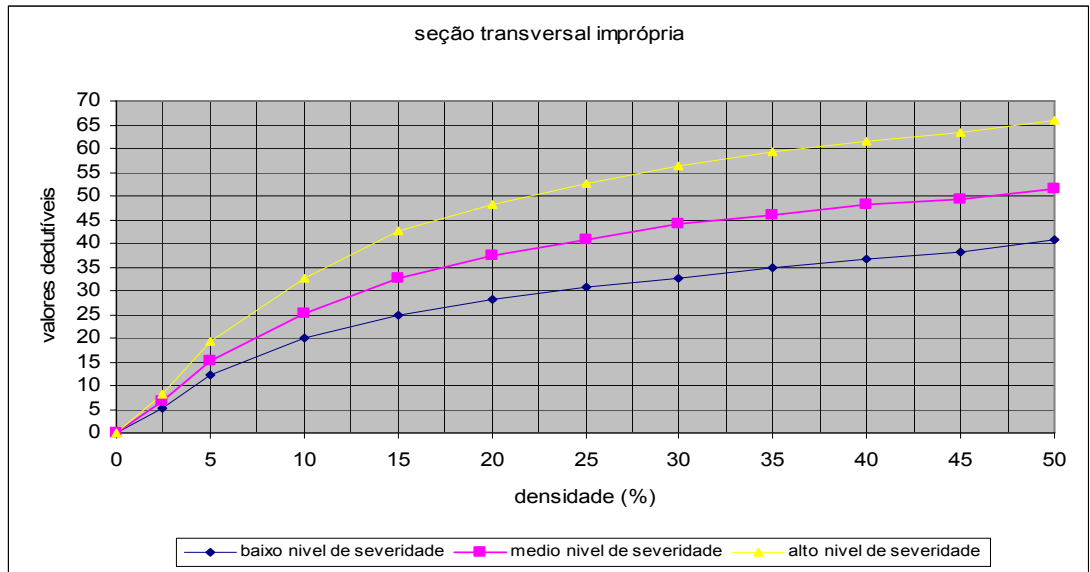


Figura 18 – Valores dedutíveis da seção transversal imprópria.

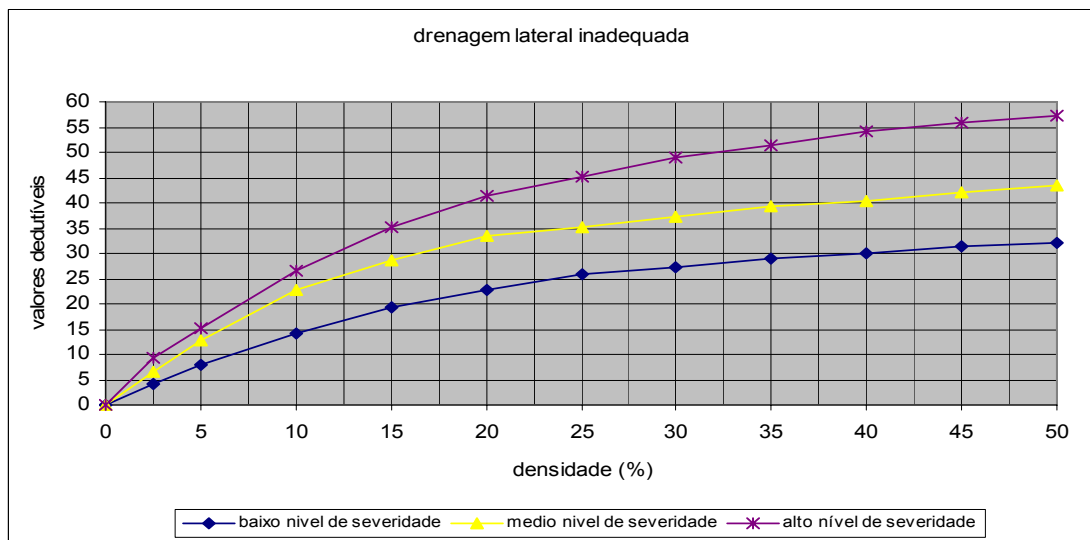


Figura 19 – Valores dedutíveis da drenagem lateral inadequada.

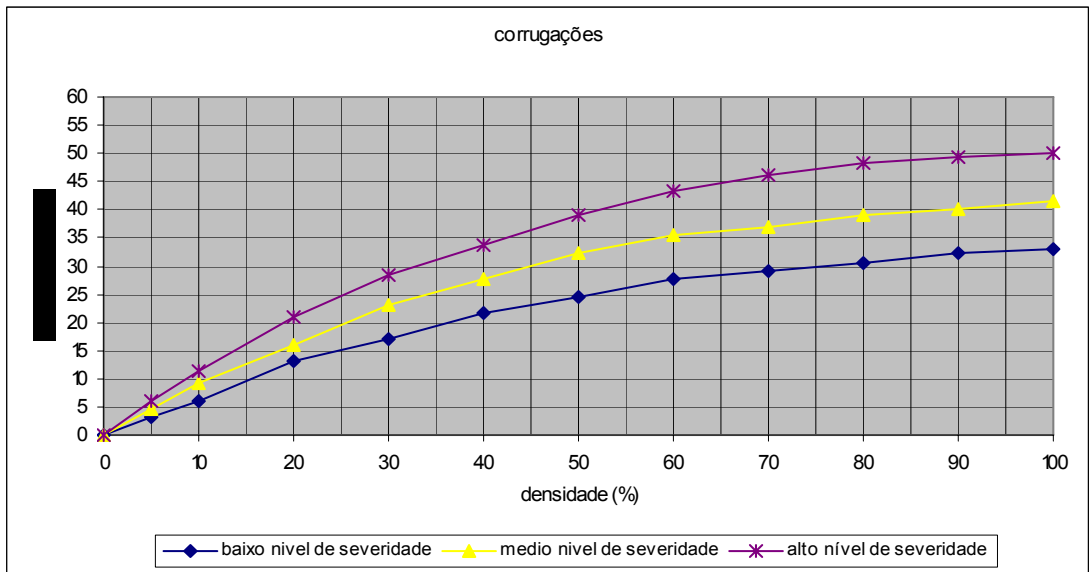


Figura 20 – Valores dedutíveis da corrugação.

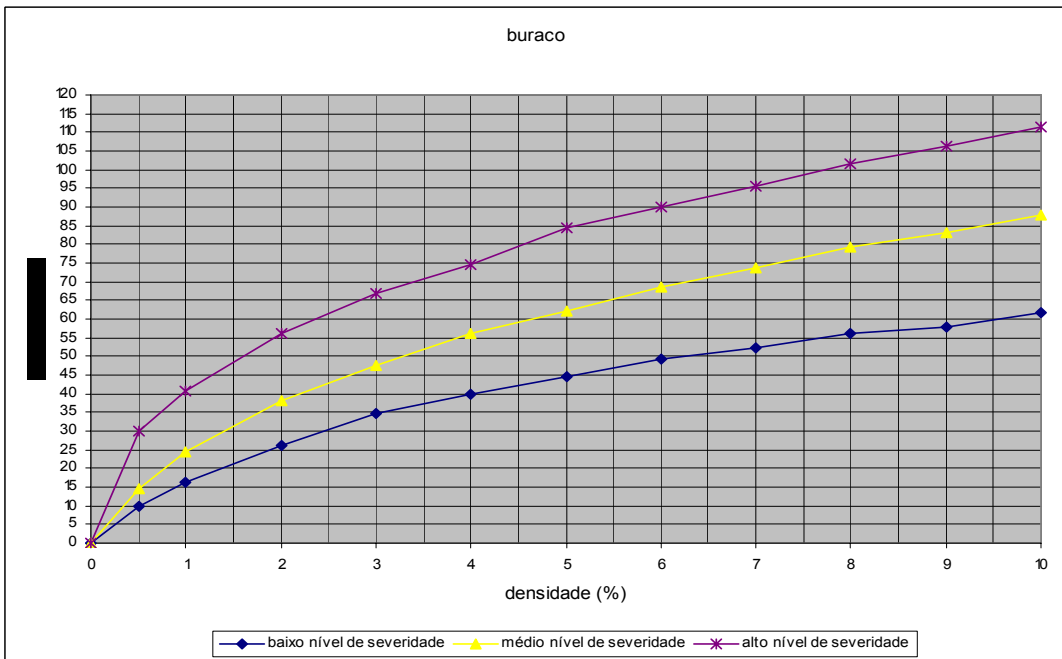


Figura 21 – Valores dedutíveis do buraco.

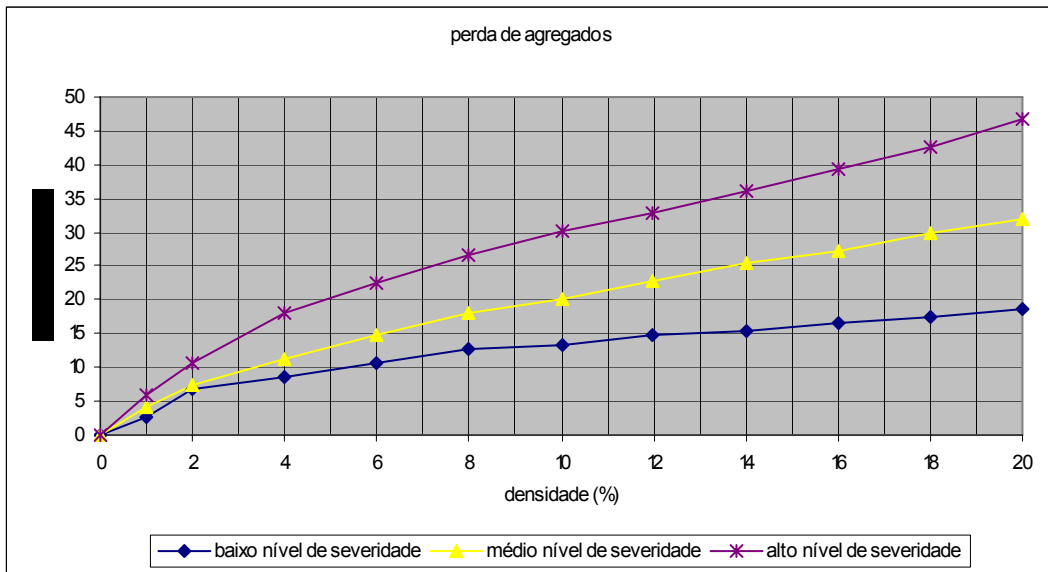


Figura 22 –Valores dedutíveis da perda de agregados.

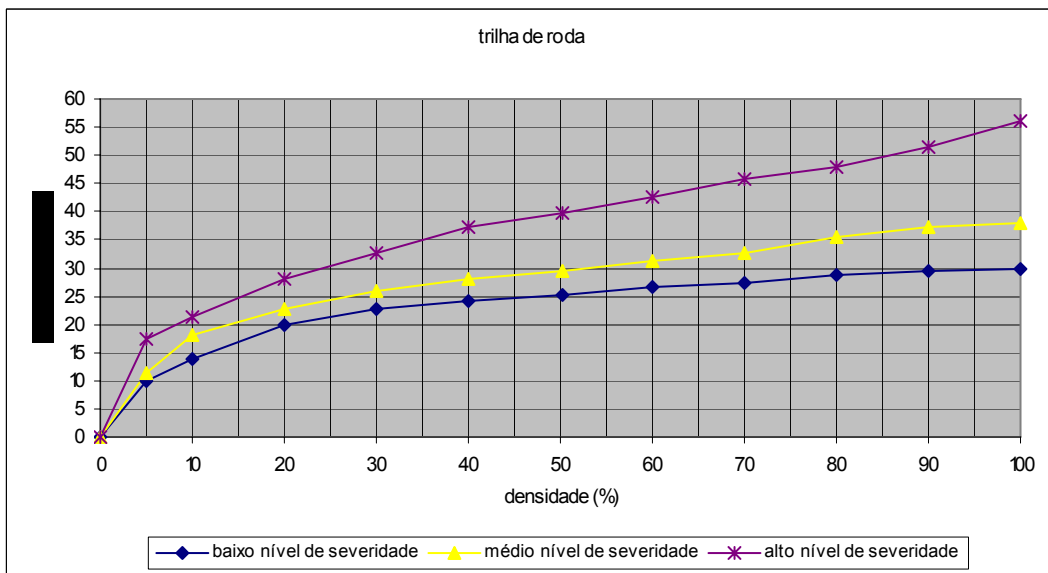


Figura 23 –Valores dedutíveis da trilha de roda.

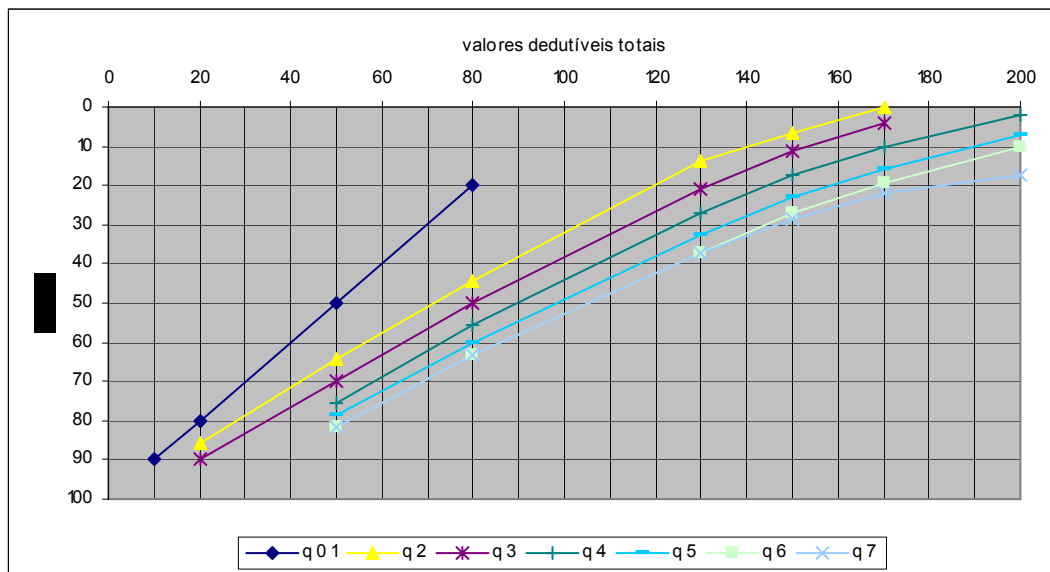



Figura 24 – ICRNP segundo os valores dedutíveis totais.

Anexo 2 – Formulário (a) usado nos levantamentos de dados de campo referentes a quantidade e severidade dos principais defeitos encontrados.

	Universidade Federal de Viçosa <i>Departamento de Engenharia Civil</i> <i>Setor de Estradas e Transportes</i>	<i>Inspeção de</i> Rodovia Não <i>Pavimentada</i>
---	--	--

Sigla da Rodovia: estrada principal Data: _____
 Ramo: _____ Inspetor: _____
 Seção: 003 Área da US: 175,00 m²
 Unidade Simples: 29

Tipos de Defeitos

Croquis

- 1 - Seção Transversal Imprópria (m)
- 2 - Drenagem Inadequada (m)
- 3 - Corrugações (m)
- 4 - Excesso de Poeira
- 5 - Buracos (unid.)
- 6 - Trilha de Roda (m²)
- 7 - Perda de Agregados (m)



Quantidade de Defeitos e Severidade

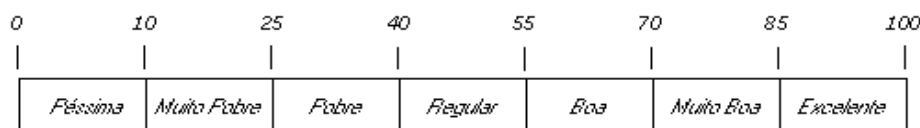
Tipo de Defeito		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	B				x		100	
	M		24					
	A	26				4		

Nota: B = Severidade baixa; M = Severidade média; e A = Severidade alta

Cálculo do ICRNP

Tipo de Defeito	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Observações:
1	48,7	Alto (A) ▼	66,3	
2	45,0	Médio (M) ▼	41,1	
3		Definir ▼		
4	-	Baixo (B) ▼	2,0	
5	24,6	Alto (A) ▼	63,8	
6	57,1	Baixo (B) ▼	24,8	
7		Definir ▼		
Total do Valor Dedutível =			198,0	
Valor "q" =			4,0	
Valor do ICRNP =	3	Classificação	Péssima	© Copyright 2004 by civil engineer Tiago F. Trindade

Nota: ICRNP = Índice da Condição da Rodovia Não Pavimentada



Anexo 2 – Formulário (b) usado para anotar as medidas, onde:

H 1,2,3 e 4 são altura nas bordas da pista direita, do meio e da esquerda;

Diferença que seria a subtração das alturas das bordas pela altura do meio;

L. estr. - largura do eixo da estrada e conseqüentemente seu abaulamento representado por A%.

UA	H 1 dir.	H 2 meio	Dif.	L est.	A %	H 3 esq.	H 4 meio	Dif.	L est.	A %
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

Anexo 3 – Formulário para avaliação subjetiva para hierarquização dos defeitos.

- 1) () buraco () drenagem lateral inadequada
- 2) () buraco () seção transversal imprópria
- 3) () buraco () corrugação
- 4) () buraco () excesso de poeira
- 5) () buraco () trilha de roda
- 6) () buraco () perda de agregados
- 7) () drenagem lateral inadequada () seção transversal imprópria
- 8) () drenagem lateral inadequada () corrugação
- 9) () drenagem lateral inadequada () excesso de poeira
- 10) () drenagem lateral inadequada () trilha de roda
- 11) () drenagem lateral inadequada () perda de agregados
- 12) () seção transversal imprópria () corrugação
- 13) () seção transversal imprópria () excesso de poeira
- 14) () seção transversal imprópria () trilha de roda
- 15) () seção transversal imprópria () perda de agregados
- 16) () corrugação () excesso de poeira
- 17) () corrugação () trilha de roda
- 18) () corrugação () perda de agregados
- 19) () excesso de poeira () trilha de roda
- 20) () excesso de poeira () perda de agregados
- 21) () trilha de roda () perda de agregados

Anexo 4 – Passos e entrada de dados no programa SNNS

Está sendo ilustrada algumas janelas do programa SNNS como exemplo dos resultados desde a forma de entrada ao abrir o programa no menu file abre um arquivo do Excell aonde estão os dados coletados no campo e daí em diante segue os passos do programa até o resultado final que a rede neural artificial chama de arquivo res que se encontra abaixo das figuras e dos dados de input que são entradas do programa. Este painel possibilita o acesso à todas as funcionalidades disponíveis no SNNS. Embora sua interface seja gráfica e de fácil utilização, um conhecimento básico de redes neurais é recomendado, desde que a terminologia contida na ferramenta é altamente técnica.

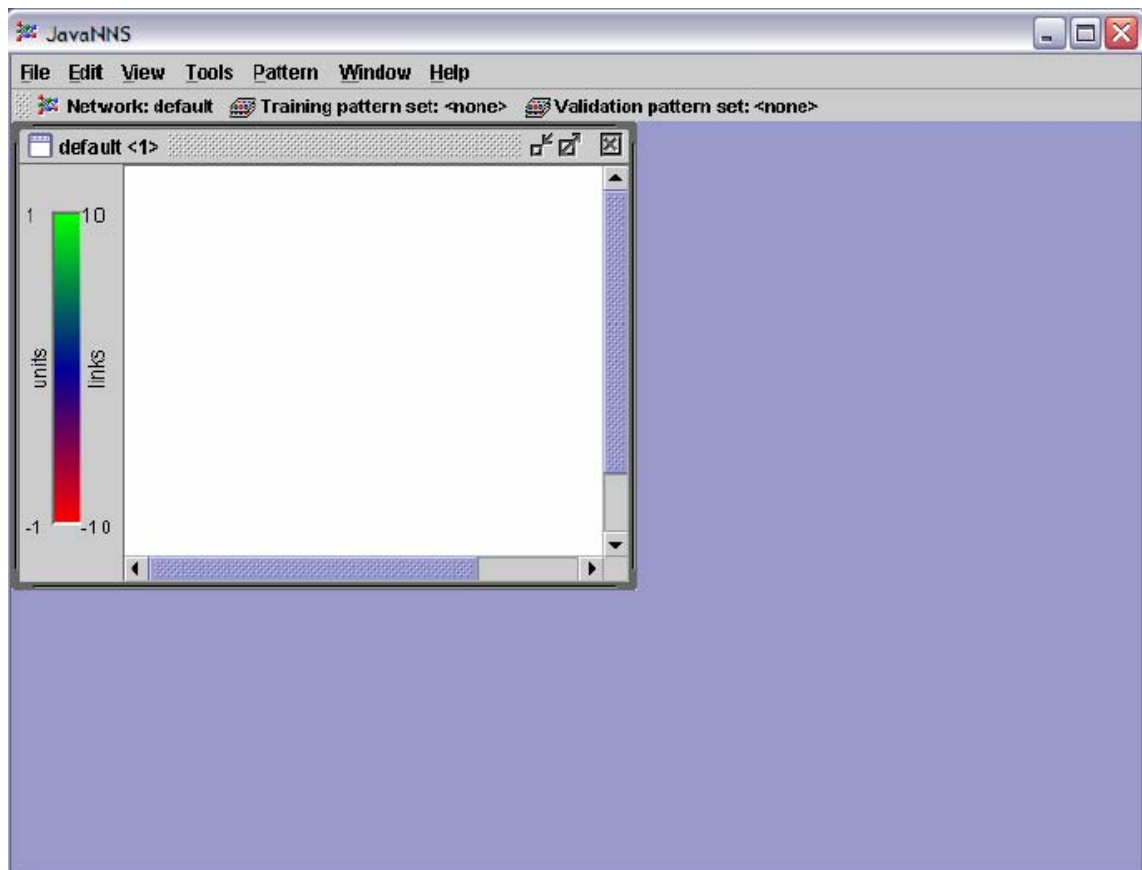


Figura 25 – Ambiente de trabalho inicial do programa SNNS.

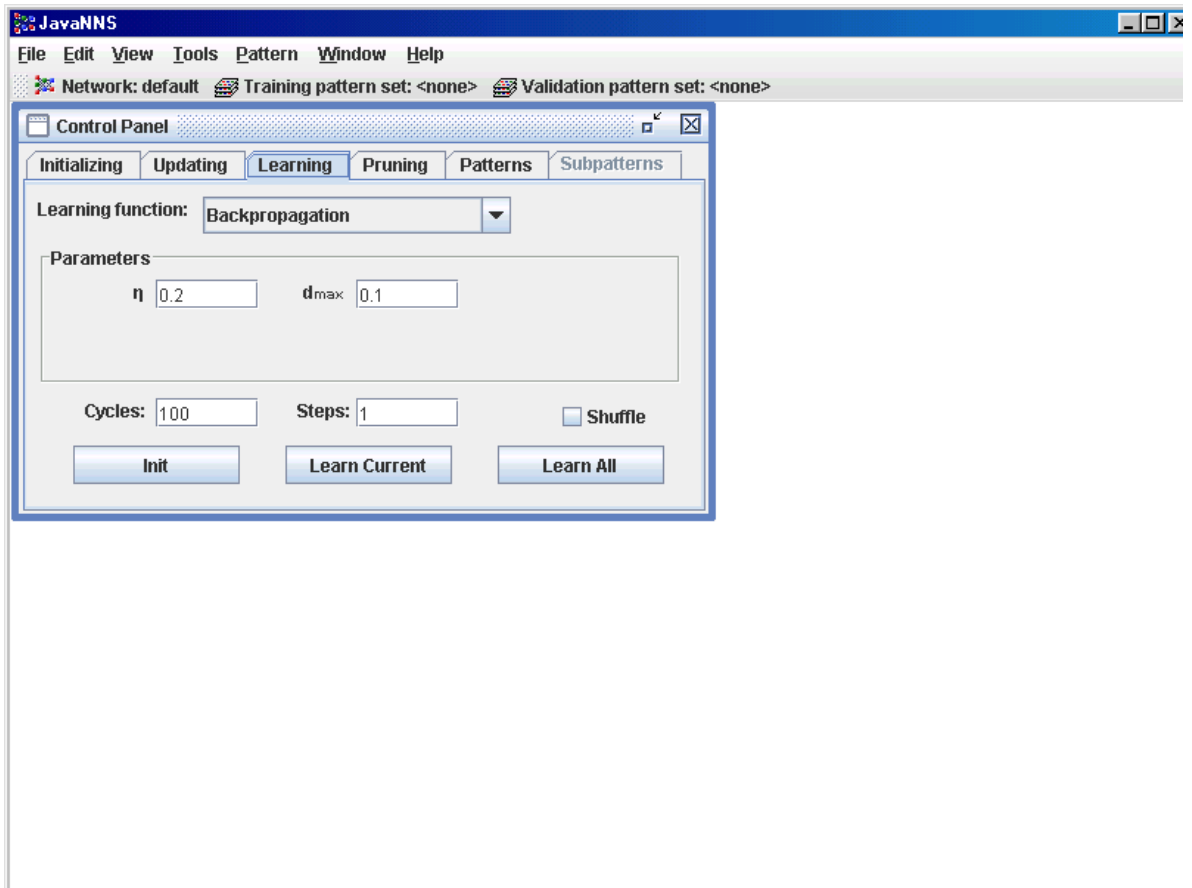


Figura 26 – Algoritmo de treinamento para que a rede aprenda e possa modelar os dados.

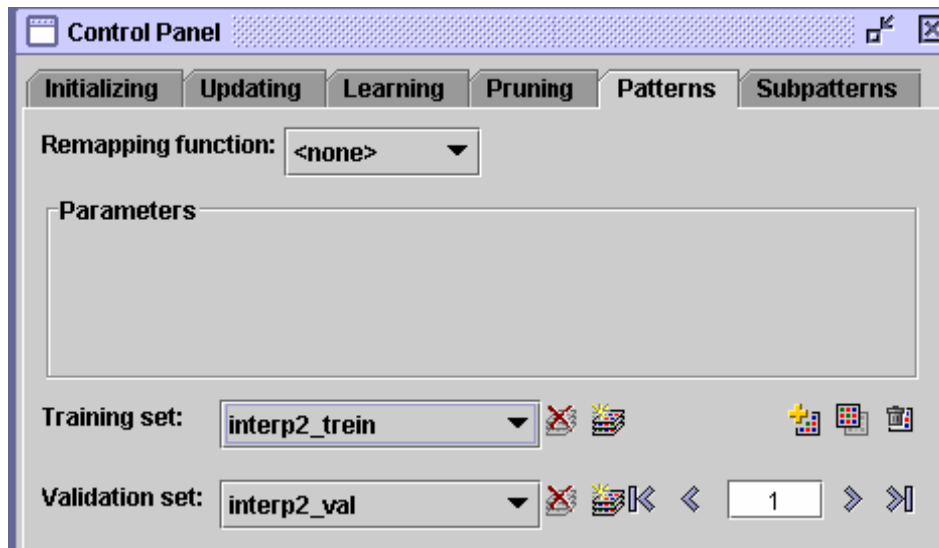


Figura 27 – Determina os arquivos de treinamento e validação para reconhecimento das características de cada defeito.

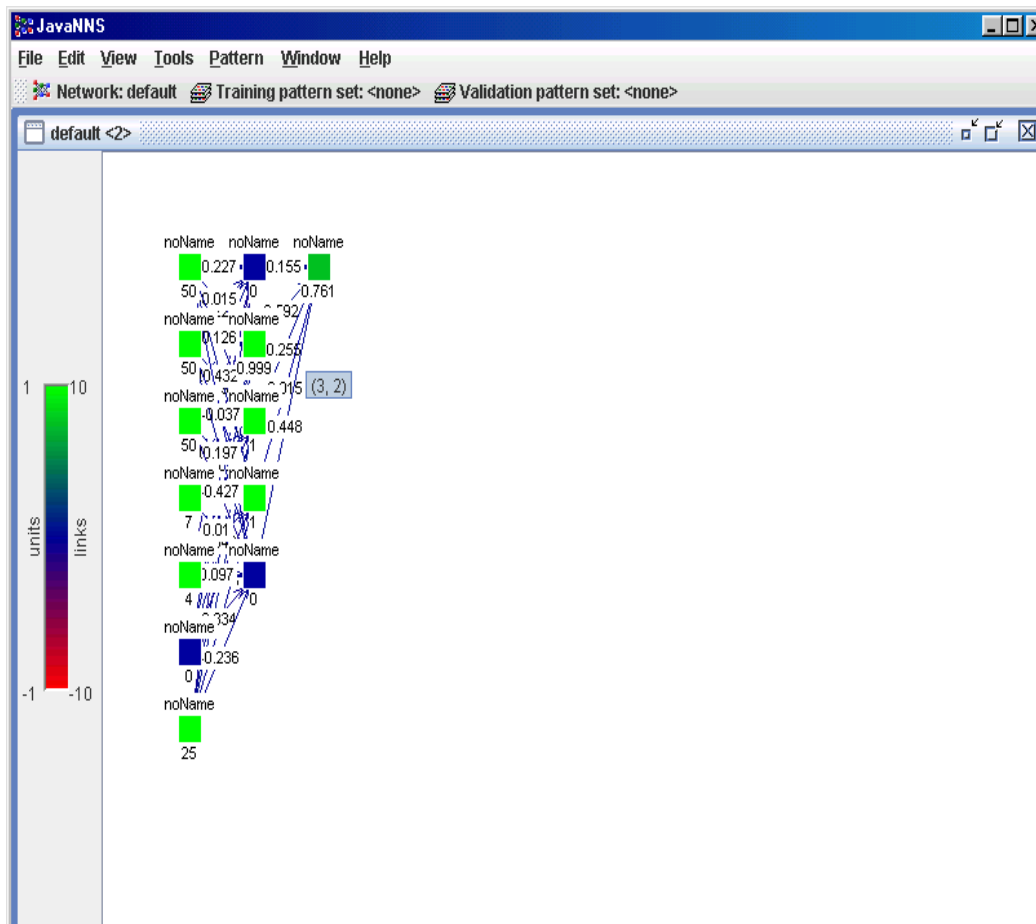


Figura 28 – Interface ilustrando os dados de entrada no programa SNNS.

Para modelar o problema apresentado, criou-se uma Rede Neural que tem como principais características:

Entrada: Matriz 8x70 onde é armazenado o padrão que será apresentado à rede.

Saída: Matriz 80x1 onde é armazenado o resultado obtido com o reconhecimento.

No. of patterns : 1

No. of input units : 1; No. of output units : 1

No. of variable input dimensions : 2

Maximum input dimensions : [8 70]

No. of variable output dimensions : 2

Maximum output dimensions: [80 1]

#Pattern 1 (Input)

[8 70]

0.80	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.80	0.00	1.00	0.00
0.00	0.44	0.00	0.40	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.60
0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
0.24	1.00	0.00	0.00	0.27	0.24	0.00	0.24	0.00	0.20	0.00
0.27	0.20	0.00	0.91	0.00	1.00	0.20	0.27	0.60	1.00	0.28
0.00	0.18	1.00	0.27	0.12	0.00	0.26	0.06	0.20	0.00	0.27
0.24	0.00	0.78	0.00							
1.00	0.00	0.13	0.12	0.00	0.38	0.00	0.80	0.80	0.00	0.16
0.00	0.11	1.00	0.20	0.00	0.27	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00	0.16	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.27	0.40	0.00
0.33	0.00	0.20	0.20	0.27	0.00	0.00	0.33	0.00	0.80	0.80
0.13	0.28	0.00	0.18	0.00	1.00	0.00	0.13	0.88	0.00	0.00
1.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.00	0.33	0.06	1.00	0.00	0.27
0.00	0.00	0.67	0.80							
0.60	0.60	0.27	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.27	0.20
0.00	0.33	0.00	0.80	0.00	0.13	0.16	0.00	0.33	1.00	0.00
0.00	0.13	0.20	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
0.22	0.00	1.00	0.00	0.27	0.16	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00
0.27	0.16	0.00	0.11	0.00	1.00	0.00	0.27	0.12	0.00	0.22
1.00	0.00	0.00	0.27	0.16	0.00	0.36	0.80	0.00	0.00	1.00
0.36	0.00	0.23	0.00							
0.00	0.00	0.13	1.00	0.00	0.67	0.80	0.00	0.00	0.13	0.28
0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.78	1.00	0.00
0.00	1.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.13	0.20	0.00
0.67	1.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00
0.13	0.40	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.50
0.00	1.00	0.00	0.27	0.20	0.00	0.24	1.00	0.00	0.00	0.00
0.16	0.00	0.00	0.00							
0.00	0.00	0.13	0.45	0.38	0.38	0.00	0.00	0.00	0.13	0.18
0.92	0.15	0.00	0.80	1.00	0.13	0.36	0.00	0.15	0.00	0.40
0.40	0.13	0.45	1.00	0.54	0.00	0.80	1.00	0.13	0.00	0.00
0.00	0.00	1.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
0.13	0.09	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.13	0.09	0.00	0.23
0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
0.00	0.00	0.00	0.00							
0.00	0.00	0.13	0.18	1.00	0.38	0.40	0.00	0.00	1.00	0.27
0.84	0.61	0.00	0.60	0.60	1.00	0.00	0.92	0.23	0.00	0.00
0.00	1.00	0.18	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
0.61	0.00	0.00	0.00	1.00	0.18	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
1.00	0.09	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	1.00	0.09	0.00	0.38
0.00	0.00	0.00	1.00	0.09	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	1.00
0.18	0.00	1.00	0.00							
0.62	0.62	0.13	0.45	0.00	0.46	0.00	0.40	0.00	0.13	0.18
0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00
0.00	0.13	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.13	0.27	0.00
0.38	0.00	0.20	0.00	0.13	0.09	0.00	0.38	0.00	0.56	0.12
0.13	0.27	0.00	0.46	0.00	0.56	0.56	0.13	0.18	0.00	0.77
0.00	0.52	0.48	0.13	0.36	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.13
0.54	0.00	0.00	0.00							
0.00	0.00	1.00	0.13	0.00	0.00	0.12	0.00	0.40	1.00	0.13
0.00	0.00	0.74	0.00	0.60	1.00	0.13	0.00	0.08	1.00	0.00
0.60	1.00	0.13	0.00	0.00	0.33	0.00	0.68	0.68	0.13	0.00
0.00	0.62	0.00	0.20	1.00	0.13	0.00	0.00	0.69	0.00	0.40
1.00	0.13	0.09	0.00	0.53	0.00	0.56	0.56	0.13	0.00	0.00
0.46	0.00	0.80	1.00	0.13	0.36	0.00	0.47	0.00	0.58	0.62
0.13	1.00	0.00	0.55							

#Pattern 1 (Output)

[80 1]

0.26441

0.26131

0.17591

0.21754

0.11278

0.12699

0.17385

0.40806

0.40055

0.17015

0.33369

0.49827

0.14771

0.09960

0.13428

0.18517

0.50430

0.34455

0.12973

0.34325

0.39736

0.36160

0.28024

0.15620

0.11176

0.32380

0.11041

0.32061

0.12887

0.11876

0.15342

0.13460

0.13024
0.10875
0.35430
0.12585
0.14934
0.13156
0.32564
0.11991
0.12878
0.11555
0.55410
0.32003
0.53257
0.31376
0.11166
0.11408
0.10503
0.10503
0.12329
0.12706
0.37178
0.11146
0.11462
0.10004
0.11942
0.10944
0.11182
0.13202
0.43520
0.18749
0.11692
0.11445
0.12342
0.15035

0.26602

0.40816

0.38247

0.11715

0.34234

0.48044

0.53841

0.50533

0.45578

0.42854

0.47320

0.38163

0.56844

0.45311