UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS VICINAIS DE TERRA COM BASE NO USO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: TRECHO DE AQUIRAZ - CE

Tercia Valfridia Lima Nunes

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Fortaleza
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

NUNES, TERCIA VALFRIDIA LIMA

Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz - CE. Fortaleza, 2003.

XV, 118 fls., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

1. Transportes – Dissertação 2. Inteligência Artificial

3. Gestão de Infra-estrutura 4. Conservação e Manutenção

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NUNES, T. V. L. (2003). Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz – CE. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 118 fls.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Tercia Valfridia Lima Nunes

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Método de Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra com Base no Uso das Redes Neurais Artificiais: Trecho de Aquiraz - CE. Mestre / 2003

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para produzir cópias desta dissertação de mestrado, bem como emprestá-la ou ainda repassá-la à(s) pessoa(s) interessada(s), mediante a cobrança do respectivo custo de reprodução, tudo desde que unicamente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora se reserva os outros direitos de publicação e os atinentes à propriedade intelectual. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado poderá ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Tercia Valfridia Lima Nunes
Rua Dona Leopoldina, 106
60110-000 – Fortaleza/CE – Brasil *E-mail:* valnunes@ufc.br

MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS VICINAIS DE TERRA COM BASE NO USO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: TRECHO DE AQUIRAZ - CE.

Tercia Valfridia Lima Nunes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

_____

Prof. Ernesto Ferreira Nobre Júnior, D.Sc.
(Orientador)

_____

Profª Suelly Helena de Araújo Barroso, D.Sc.
(Examinadora Interna)

_____

Prof. Antônio Nilder Duarte Furtado, D.Sc.
(Examinador Externo)

FORTALEZA, CE – BRASIL
AGOSTO DE 2003

“Se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje,

faça alguma coisa pequena,

mas faça.

...

...O importante é não parar,

mesmo um pequeno avanço na direção certa

já é um grande progresso.”

(a.d.)

Aos meus pais, Valter e Maria do Carmo,
que sempre estiveram presentes em todas as minhas conquistas;
A Alexandre Vasconcelos, pelo amor, incentivo e companheirismo;
Às minhas irmãs: Tarcia e Ana Carla;
À Ariel, que me conquistou com o seu carinho.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar sempre ao meu lado iluminando todos os meus passos;

Ao Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior, pela orientação e contribuição ao longo da minha vida acadêmica;

Ao Prof. Dr. Nilder Furtado pela atenção, auxílio e pelas informações fornecidas, fundamentais para a realização deste trabalho;

À Profª Dra. Suelly Helena de Araújo Barroso, pela amizade, apoio, incentivo, os quais foram muito importantes para a realização deste trabalho;

A Pastor W. Gonzáles Taco, pela disponibilidade e material fornecido;

A todas as pessoas que se disponibilizaram para a concretização deste trabalho, especialmente aos técnicos do Laboratório de Mecânica dos Solos e aos alunos que participaram do levantamento de campo;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP, pela bolsa de estudos concedida;

Ao Prof. José Valter Lopes Nunes, do Departamento de Matemática da Universidade Federal do Ceará, meu pai, pelo modelo acadêmico que significa, o qual procuro trilhar, enfim, pelo aconselhamento multidimensional que, por nossa relação, tive privilegiado acesso.

A Alexandre Vasconcelos pela revisão do texto e sugestões oferecidas.

Às minhas amigas Solivânia e Jeane, pelo apoio durante todos esses anos.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em Engenharia de Transportes.

MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS VICINAIS DE TERRA COM BASE NO USO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: TRECHO DE AQUIRAZ - CE.

Tercia Valfridia Lima Nunes

Agosto / 2003

Orientador: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

A representativa extensão da malha rodoviária não-pavimentada no Estado do Ceará e no Brasil e a sua relevância para o desenvolvimento sócio-econômico, justificam a necessidade de implantação de programas de manutenção regular e preventiva dessas vias, cujo mal estado de conservação sistematicamente retarda e onera o escoamento da produção, a circulação de bens, serviços e de pessoas entre as áreas rurais e os centros urbanos. Nesse contexto, esta dissertação apresenta o resultado de uma pesquisa experimental onde se procurou desenvolver um método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra, elaborado com base nas Redes Neurais Artificiais (RNA), técnica que vêm sendo aplicada no reconhecimento de padrões. A área escolhida para o estudo de caso foi a malha de estradas de terra do município de Aquiraz, no estado do Ceará, por apresentar características representativas. O método desenvolvido buscou possibilitar a previsão dos defeitos e das respectivas severidades, a partir de atributos locais selecionados, para subsidiar as atividades de um sistema de gerência de vias, em especial o processo de tomada de decisão quanto às intervenções a se executar com vistas a melhor alocação dos recursos financeiros disponíveis. Para tanto, se utilizou de procedimentos experimentais que envolveram a seleção e identificação dos atributos; a identificação e avaliação das espécies de defeitos quanto aos graus de severidade com base nos métodos indicados e adaptações oferecidas pela autora; a ordenação das variáveis de entrada e saída para a aplicação da RNA; a formação das partições de dados; a definição da topologia *Multilayer Percerptron* (MLP) e dos parâmetros de treinamento da RNA, culminando com os processos de treinamento, validação e teste. Os resultados experimentais permitiram concluir ser esta aplicação das RNA viável à vista do desempenho de 91% obtido, o que levou à consideração prática da relação de identidade entre os resultados encontrados e os defeitos e severidades observados em campo. Esses resultados permitiram também o desenvolvimento de uma interface, no *Microsoft Excel 2000,* que simula o funcionamento do modelo de RNA eleito e favorece a utilização do método por usuários não especializados, o que condiz com a realidade dos poderes públicos municipais. Por fim, concluiu-se que o método pode ser aplicável a trechos de outras regiões, bastando que se adotem os procedimentos de acordo com as particularidades e restrições locais.

Abstract for Thesis submitted to PETRAN/ UFC as part of the requirements for the obtaining of Master's title in Sciences (M. Sc.) in Transportation Engineering.

A METHOD OF PREDICTING PROBLEMS IN UNSURFACED ROADS BY NEURAL NETWORKS: AQUIRAZ - CE.

Tercia Valfridia Lima Nunes

August / 2003

Advisor: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

The representative extension of the unpaved roads in Ceará and in Brazil and their relevance for the socioeconomic development, they justify the need of programs of regular and preventive maintenance in those roads, whose badly conservation state systematically delays and it burdens the drainage of the production, the circulation of asset, services and of people between the rural areas and the urban centers. This dissertation presents a method of forecast of problems in unpaved roads, elaborated with base in the Nets Artificial Neural (ANN), technique that have been applied in the recognition of patterns. The area of the case study is the municipal district of Aquiraz/CE that presents representative characteristics. The developed method looked for to make possible the forecast of the problems and of the respective severities, starting from selected local attributes, to subsidize the activities of a roads management system, especially the process of decision with regard to the allocation of the available financial resources for the interventions to objectify the use of these roads during the whole year. The method was served as experimental procedures as: the selection and identification of the attributes; the identification and evaluation of the species of defects with relationship to the severity degrees with base in the suitable methods and adaptations offered by the author; the ordination of the inputs and exit for the application of RNA; the formation of the partitions of data; the choice by Multilayer Percerptron (MLP) and of the parameters of training of ANN, culminating with the training processes, validation and test. A ANN was structured with use of the software Easy NN Plus. After this, there was a development of an interface that simulates the operation of the ANN model and it favors the use of the method for no experts users, which suit with the reality of the municipal districts. This application of ANN was shown viable to the view of the acting of 91% obtained, what took to the practical consideration of the identity relationship between the found results and the problems and severities observed in reality. The method is applicable to other areas, being enough the procedures to be adopted in agreement with the particularities and local restrictions.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO 1

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA 1

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA 11

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA 12

1.3.1 Objetivo Geral 12

1.3.2 Objetivos Específicos 13

1.4 METODOLOGIA EMPREGADA 13

1.4.1 Revisão Bibliográfica 14

1.4.2. Eleição da área do estudo de caso e seleção dos atributos 14

1.4.3 Coleta de Dados 15

1.4.4 Estruturação dos Defeitos Identificados na Área em Estudo 16

1.4.5 Análise dos Atributos Coletados na Formação dos Defeitos Identificados 16

1.4.6 Execução do Segundo Procedimento Experimental 16

1.4.7 Análise dos Resultados 17

1.4.8 Desenvolvimento da Interface de Aplicação 17

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 17

CAPÍTULO 2

ESTRADAS VICINAIS DE TERRA 20

2.1 INTRODUÇÃO 20

2.2 CONCEITOS BÁSICOS 20

2.2.1. Rodovias Vicinais 20

2.2.2. Estradas de Terra 21

2.3 PROBLEMAS EM ESTRADAS DE TERRA 22

2.4 DEFEITOS EM ESTRADAS DE TERRA 23

2.4.1 Tipos de Defeitos 24

2.5 MANUTENÇÃO DE ESTRADAS DE TERRA 33

2.5.1 Conceitos Básicos 33

2.5.2 Importância da Manutenção e Conseqüências da Manutenção Inadequada 33

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 35

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS 37

3.1 INTRODUÇÃO 37

3.2 DEFINIÇÕES 38

3.3 HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS 39

3.4 O NEURÔNIO ARTIFICIAL 41

3.5 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS RNA 43

3.6 PERCEPTRON MULTICAMADAS (MLP) 44

3.6.1 Definição 44

3.6.2 Função de Ativação 46

3.6.3 A Arquitetura 47

3.6.4 Processos de Aprendizagem 48

3.6.5 Considerações Sobre os Experimentos que Utilizam RNA 52

3.7 RNA NA ÁREA DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES 54

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 56

CAPÍTULO 4

O MÉTODO 57

4.1 INTRODUÇÃO 57

4.2 PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 58

4.3 SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 64

4.3.1 Ordenação das Variáveis de Entrada e Saída 64

4.3.2 Definição de Topologias e Parâmetros para as Redes Neurais Artificiais.....65

4.3.3 Considerações Sobre o Simulador Utilizado: EASY NN PLUS.....66

4.3.4 Verificação do Nível de Confiabilidade da RNA e Definição dos Parâmetros de corte.....66

4.3.5 Treinamento, Validação e Teste.....67

4.4 DEFINIÇÃO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO 70

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....71

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO.....72

5.1 INTRODUÇÃO 72

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE AQUIRAZ.....73

5.2.1 Como é feita a Manutenção das Estradas Não-Pavimentadas 76

5.3 RESULTADOS OBTIDOS.....78

5.3.1 Resultados Obtidos no Primeiro Procedimento Experimental.....78

5.3.2 Resultados Obtidos no Segundo Procedimento Experimental.....95

5.3.3 A Interface de Aplicação.....101

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....102

CAPÍTULO 06

CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....103

6.1 CONSIDERAÇÕE INICIAIS 103

6.2 ORIGINALIDADE E ADEQUAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....104

6.3 PINCIPAIS CONCLUSÔES.....104

6.3.1 Quanto ao Primeiro Procedimento Experimental.....104

6.3.2 Quanto ao Segundo Procedimento Experimental.....107

6.3.3 Quanto à Interface de Aplicação 108

6.4 RESTRIÇÕES AO MÉTODO 108

6.5 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES 110

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 110

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 111

ANEXO – A INTERFACE DE APLICAÇÃO 115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura diagramática do trabalho 19

Figura 2.1 Estrada vicinal de terra do Município de Aquiraz 21

Figura 2.2 Travessia de um atoleiro por caminhão AQZ_03 22

Figura 2.3 Seção transversal em calha 25

Figura 2.4 Seção transversal abaulada e encaixada 25

Figura 2.5 Seção transversal mista 25

Figura 2.6 Exemplo de seção transversal mista – trecho em estudo 25

Figura 2.7 Exemplo de ondulações - trecho em estudo 26

Figura 2.8 Exemplo de poeira – trecho em estudo 27

Figura 2.9 Exemplo de buraco – trecho em estudo 28

Figura 2.10 Afundamento de trilhas de roda – trecho estudado 29

Figura 2.11 Segregação de agregados à esquerda da via – trecho estudado 30

Figura 2.12 Areião à direita da via – trecho estudado 31

Figura 2.13 Exemplo de erosão – trecho estudado 31

Figura 2.14 Exemplo de atoleiro – trecho estudado 32

Figura 3.1 Modelo não-linear de um neurônio 41

Figura 3.2 Esquema de uma rede neural artificial com três camadas 45

Figura 3.3 Gráficos da função *sigmoidal* e da sua derivada 46

Figura 3.4 Exemplo hipotético de classificação de padrões 48

Figura 3.5 Exemplo de superfície de erro 51

Figura 4.1 Levantamento topográfico 59

Figura 4.2 Folha individual para inspeção de defeitos utilizada – frente 60

Figura 4.3 Folha individual para inspeção de defeitos utilizada – verso 61

Figura 4.4 Folha individual para contagem de tráfego 62

Figura 5.1 Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza 73

Figura 5.2 Mapa dos distritos de Aquiraz 74

Figura 5.3 Aquiraz - vias de acesso 75

Figura 5.4 Distribuição pedológica dos solos na RMF 76

Figura 2.8 Estrada após passagem motoniveladora 78

Figura 5.5 Perfil longitudinal da estrada AQZ_01 79

Figura 5.6 Perfil longitudinal da estrada AQZ_02 79

Figura 5.7 Perfil longitudinal da estrada AQZ_03 79

Figura 5.8 Mapa do trecho em estudo 80

Figura 5.9 Exemplo de seção transversal mista – AQZ_01 81

Figura 5.10 Exemplo de seção transversal abaulada e encaixada – AQZ_01 81

Figura 5.11 Exemplo de seção transversal em calha – AQZ_01 81

Figura 5.12 Freqüência de defeitos – AQZ_01 – chuva 83

Figura 5.13 Freqüência dos defeitos – AQZ_02 – chuva 83

Figura 5.14 Freqüência dos defeitos – AQZ_03 – chuva 84

Figura 5.15 Freqüência dos defeitos – AQZ_01 – sol 85

Figura 5.16 Freqüência dos defeitos – AQZ_02 – sol 85

Figura 5.17 Freqüência dos defeitos – AQZ_03 – sol 86

Figura 5.18 Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_01 – chuva ... 87

Figura 5.19 Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_02 – chuva ... 87

Figura 5.20 Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_03 – chuva ... 87

Figura 5.21 Freqüência dos níveis de severidade – AQZ_01 – sol 88

Figura 5.22 Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_02 – sol 89

Figura 5.23 Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_03 – sol 89

Figura 5.24 Ocorrência dos valores de rampa encontrados em todo o trecho.....90

Figura 5.25 Ocorrência dos tipos de solo encontrados em todo o trecho 91

Figura 5.26 Ocorrência de sistemas de drenagem em todo o trecho 92

Figura 5.27 Ocorrência dos tipos de seção transversal em todo o trecho 92

Figura 5.28 Percentual da ocorrência de todos os atributos em todo o trecho.....93

Figura 5.28 Arquitetura da RNA com melhor desempenho.....98

Figura 5.29 Gráfico da RNA com melhor desempenho.....99

Figura 5.30 Gráfico da RNA com melhor desempenho – parâmetros.....100

Figura 5.31 Importância das variáveis de entrada para o modelo de RNA eleito 100

Figura 5.32 Interface de Aplicação do MÉTODO proposto 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Matriz de transportes de cargas no Brasil.....3

Tabela 2.2 Extensão total das rodovias no Brasil 3

Tabela 2.3 Extensão total das rodovias no Estado do Ceará 4

Tabela 2.4 Níveis de severidade da ocorrência de buracos 28

Tabela 2.5 Níveis de severidade da ocorrência de erosão 32

Tabela 4.1 Lista dos parâmetros variáveis num modelo MLP.....68

Tabela 5.1 Solos predominantes no Município de Aquiraz.....76

Tabela 5.8 Associação de pesos às variáveis de entrada 96

Tabela 5.9 Associação de pesos às variáveis de saída.....97

Tabela 5.10 Erro Quadrático Médio e por variável de saída 98

Tabela 5.11 Coeficiente de determinação médio (r^2) e por variável de saída 98

Tabela 5.12 Desempenho médio e por variável de saída no conjunto de teste.....98

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste trabalho, apresenta-se o resultado de uma pesquisa em nível de mestrado conduzida no campo da "Previsão de Defeitos em Estradas Vicinais de Terra". A pesquisa incorporou ao campo de trabalho recursos da Inteligência Artificial (IA), em particular das Redes Neurais Artificiais (RNA).

A técnica das Redes Neurais Artificiais é aqui aplicada como instrumento para previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão quanto às intervenções adequadas e necessárias em tais vias, haja vista a importância da boa previsibilidade dos defeitos no desenvolvimento posterior de um programa de manutenção regular e preventiva nestas estradas, ou mesmo como subsídio às ações de manutenção onde eventualmente são regularmente desempenhadas.

Este capítulo introdutório aponta a abrangência desta dissertação por apresentar a importância do tema da previsão de defeitos em estradas vicinais de terra de modo contextualizado; delimitar a abordagem na apresentação do problema de pesquisa; apresentar os objetivos geral e específicos; indicar a metodologia empregada e, finalmente, por resumir a estrutura da dissertação.

Na seção seguinte serão apresentadas a contextualização e justificativa da temática abordada, onde estarão expostos alguns aspectos que consubstanciam a necessidade premente de se pesquisar alternativas com o intuito de promover um melhor aproveitamento da malha rodoviária vicinal no Estado do Ceará.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um dos pressupostos do desenvolvimento sócio-econômico de um país, cuja finalidade última deve consistir na melhoria do bem estar social, é a disponibilidade de infra-estrutura adequada ao desempenho da atividade produtiva. Esta abordagem impõe a consideração da importância fundamental das instalações de transportes para o processo de produção, circulação e distribuição da riqueza atinentes a uma economia nacional.

Em corroboração com essa idéia, o economista e estudioso da infra-estrutura Josef Barat, em seu artigo "O Custo da Deficiência Brasileira", afirma: "os países que atingiram o desenvolvimento de forma consistente e duradoura foram aqueles que souberam priorizar os investimentos em infra-estrutura." (Barat, 2002)

Vale ressaltar, ainda com relação aos investimentos em infra-estrutura no Brasil, a pronúncia do Presidente da Associação Nacional dos Transportes de Carga (NTC), Geraldo Vianna: "O espetáculo do crescimento e do desenvolvimento só acontecerá se forem feitos investimentos em infra-estrutura e, sobretudo nas matrizes energética e de transportes". (Campos, 2003)

Particularmente para o caso dos transportes, os investimentos em infra-estrutura devem ser entendidos como uma soma de recursos disponíveis que é desviada para a futura geração de um serviço, como explicam Caixeta e Martins (1998).

Diante do panorama da infra-estrutura exposto e dada a forma de inserção dos transportes como atividade-meio, Caixeta e Martins (1998) reforçam a função vital que esses exercem no alcance de alguns elementos prioritários em políticas de promoção do desenvolvimento como por exemplo a exploração dos recursos, a divisão do trabalho, o aumento do valor da terra, a produção em larga escala, com a conseqüente expansão dos mercados e a redução dos custos das mercadorias. Isto, sem mencionar a função social cumprida pelos transportes: permitir a mobilidade das pessoas, estimulando assim a disseminação de informações e idéias.

Nesse contexto, o Brasil apresenta a porção mais representativa das suas instalações de transportes concentrada no modo rodoviário. Este predomínio, conforme Fleury (2002), se deve aos baixos preços praticados, à pequena extensão da malha ferroviária e à precariedade na qual se encontra e, finalmente, à subtilização do potencial navegável dos rios brasileiros que, de 45 mil quilômetros, somente 28 mil são efetivamente utilizados.

A tabela 2.1 ilustra o grau de utilização, no Brasil, dos diferentes modais de transportes de carga.

Tabela 2.1: Matriz de transportes de cargas no Brasil

Modal	**Percentual de utilização (TKU)**
Rodoviário	61%
Ferroviário	20%
Aquaviário	13%
Dutoviário	5%
Aeroviário	< 1%

Fonte: adaptado de Fleury (2002)

O professor Hugo Yoshizaki, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, afirma que, ao menos a médio prazo, o Brasil vai continuar convivendo com a predominância do modal rodoviário (*apud* Campos, 2003). Diante dessa realidade, se faz necessário e urgente o desenvolvimento de alternativas viáveis que minimizem os estrangulamentos físicos causados em conseqüência das insatisfatórias condições em que se encontra a malha rodoviária brasileira, os quais, segundo Barat (2002), afetam diretamente a competitividade das exportações e o abastecimento interno, além de impedirem o alargamento do mercado nacional.

Posta a representatividade do modal rodoviário no setor dos transportes de carga, apresenta-se na tabela 2.2, a distribuição da extensão das rodovias no Brasil, com o propósito de salientar a freqüência das rodovias vicinais não-pavimentadas, sobre as quais centram-se os objetivos desta pesquisa.

Tabela 2.2: Extensão total das rodovias no Brasil

Ano/ Percentagem	**2000**	**%**
Extensão Total das Rodovias	1.724.929	100,0
Extensão Total das Rodovias Não-pavimentadas	1.559.941	90,4
Extensão Total das Rodovias Vicinais	1.446.289	83,8
Extensão Total das Vicinais Pavimentadas	16.993	1,2
Extensão Total das Vicinais Não-pavimentadas	1.429.296	98,8

Fonte: adaptado de IBGE (2001)

Nota-se, pela observação da tabela 2.2, que cerca de 84% de toda a malha rodoviária nacional - 1.724.929 Km - é composta de estradas vicinais, das quais 98,8% se encontram não-pavimentadas (IBGE, 2001).

As estradas vicinais de terra, também denominadas estradas rurais, agrovias ou ainda estradas municipais, de fundamental importância econômica e social para as comunidades rurais, representam grande parte da malha rodoviária brasileira (ocorrência de cerca de 83%). Essas vias exercem a função de "alimentadoras", ou seja, através delas é estabelecida a ligação entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas, por onde circularão as mercadorias até o seu destino final.

No Estado do Ceará, esse panorama não se mostra diferente. Observa-se na tabela 2.3 que de um total de 50.374 Km isto é, toda a malha rodoviária do Estado, cerca de 77% são estradas vicinais, das quais, 99,0% encontram-se não-pavimentadas.

Tabela 2.3: Extensão total das rodovias no Estado do Ceará

Ano/Percentagem	**2000**	**%**
Extensão Total das Rodovias	50.374	100,0
Extensão Total das Rodovias Não-pavimentadas	43.752	86,8
Extensão Total das Rodovias Vicinais	38.553	77,0
Extensão Total das Vicinais Pavimentadas	373	1,0
Extensão Total das Vicinais Não-pavimentadas	38.180	99,0

Fonte: adaptado de IBGE (2001)

Em nível mundial, conforme Rolt (1995) *apud* Viviani (1998), mais de 80% das vias existentes nos países em desenvolvimento encontram-se não-pavimentadas. O Banco Mundial estima, segundo Viviani (1998), que esta percentagem corresponda à cerca de 6 milhões de quilômetros de estradas. Em um estudo mais detalhado, Alfelor e McNeil (1989) afirmam que em 1978 a proporção das vias não-pavimentadas variava de 5 a 63% nos países desenvolvidos, e de 70 a 97% nos países em desenvolvimento.

Além da representatividade estatística das estradas não-pavimentadas, a importância das mesmas apóia-se, sobretudo, no aspecto da sua funcionalidade sócio-econômica.

Com a finalidade de se ressaltar a importância das estradas vicinais de terra, Viviani (1998) destaca o papel fundamental exercido por tais vias: são o primeiro caminho a ser percorrido por toda a produção da zona rural e, conseqüentemente, são as primeiras responsáveis pelo escoamento dos produtos agropecuários. Além disso, exercem função de ligação entre as comunidades rurais e os centros urbanos.

Para reafirmar a importância funcional dessas vias o DNER (1981) explica:

> "O desenvolvimento da agricultura, a distribuição de alimentos, a provisão dos serviços de saúde e o acesso às informações por meio dos serviços educacionais e das outras formas de comunicação nas regiões rurais do Brasil dependem, em larga escala, das instalações de transporte representadas significativamente por estradas vicinais, as quais, em sua maioria, encontram-se não-pavimentadas".

Assim, as vias de terra, situadas primordialmente na jurisdição administrativa dos municípios, contribuem maciçamente para o desenvolvimento sócio-econômico da região a qual pertencem. Aos municípios cabem, por conseguinte, os investimentos e a gestão da infra-estrutura atinentes às estradas vicinais.

Com o advento da Constituição Federal de 1988, os municípios brasileiros adquiriram autonomia política e estatura de ente federativo em decorrência do que lhes foram conferidas no âmbito local prerrogativas como a titularidade e o exercício do poder de estabelecer suas próprias leis, o exercício do poder de tributar (criar e cobrar tributos) e de organizar e prestar os serviços públicos.

A posição de autonomia política dos municípios brasileiros é reafirmada segundo a dicção de Carraza, (1998):

> "Note-se que a constituição atual situou o município dentro das esferas político- administrativas da República , dando-lhe efetiva autonomia política, financeira e administrativa. ... As competências municipais, maiormente quanto à decretação e arrecadação de tributos, à aplicação de rendas, à organização dos serviços públicos locais etc., não são delegadas pelos Estados ou pela União, mas são tão *originárias* quanto às competências estaduais ou federais. ... Assim, não é lícito, nem à União, nem aos Estados, tolher ou mesmo disciplinar o exercício da atribuição dos municípios."

O papel intervencionista dos governos no que tange à política orçamentária cinge-se a assegurar o ajustamento na alocação de recursos, na distribuição da renda e da riqueza e em assegurar a estabilização econômica.

Desse perfil de papéis orçamentários, alguns cabem aos municípios à luz da técnica da distribuição constitucional de competências de caráter executivo. Muitas atividades, ora pelo volume financeiro que representam ora pela incerteza da lucratividade não poderiam ser oferecidas pelo sistema de mercado, devendo ser

suportadas pelo poder público mesmo em vista da importância social e econômica (Riani, 1995).

Os municípios, em geral, dispõem de escassos recursos técnicos e financeiros a serem empregados nos serviços de manutenção das estradas de terra. Alie-se a isto a noção existente de que a manutenção dessas estradas não requer especialização e talvez nessa linha de pensamento esteja a origem da tímida pesquisa que historicamente se tem dedicado às mesmas, apesar da evidente importância de tais vias.

Segundo Oda (1995), raras são as publicações existentes sobre estradas não-pavimentadas no Brasil, entre as quais cita: Estradas Vicinais de Terra – Manual Técnico para Conservação e Recuperação, desenvolvido pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) em 1985, e Conservação de Estradas Não-Pavimentadas, publicado pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem) em 1981.

As publicações citadas contêm aspectos relevantes à manutenção de estradas de terra, como: descrição dos principais tipos de defeitos, suas causas e correções, algumas atividades de manutenção e formas de combate à erosão. Além disso, ressaltam a importância de uma manutenção constante e eficiente, os fatores que influenciam a manutenção e o uso das vias, em diferentes épocas do ano e mostram os principais problemas que surgem nesse processo.

No entanto, apesar das informações contidas, os referidos manuais possuem limitações pelo fato de serem adaptações de obras estrangeiras isto é, desenvolvidas para países cujas características físicas diferem muito das encontradas no Brasil e por não considerarem aspectos essenciais para a ocorrência dos defeitos como o tipo de solo e a topografia.

Assim, a grande extensão da malha rodoviária não-pavimentada e o tratamento que vem sendo dado a tais estradas, em particular nos longínquos municípios do Brasil, justificam que este campo venha merecer maior atenção dos órgãos de pesquisa e dos poderes públicos locais, com vistas ao desenvolvimento de alternativas que auxiliem a manutenção e reabilitação dessas vias, objeto da infra-estrutura de transportes, por meio de uma melhor utilização dos recursos técnicos e financeiros disponíveis.

De acordo com Viviani (1998):

"Uma solução que abre enormes perspectivas para os problemas das vias rurais não-pavimentadas encontra-se, sem dúvida, na implantação de sistemas de gerência de vias, através dos quais se consiga realizar atividades de conservação, por meio de atividades de manutenção periódicas e de caráter preventivo".

As atividades de manutenção, conforme Viviani (1998), consistem em operações específicas de trabalho nas vias, com o objetivo de minimizar os defeitos ou a deterioração das mesmas, de modo a proporcionar boas condições de conforto e segurança aos usuários das estradas rurais. A autora ressalta ainda que esses sistemas de gerência de infra-estrutura são, de modo geral, o caminho para análise de grandes quantidades de dados com vistas à tomada de decisão.

Esse conceito fora apresentado por Haas *et al.* (1994), ao descrever que um sistema de gerência de vias tem como objetivo principal comparar, priorizar e alocar recursos de seu programa de manutenção e reabilitação de pavimentos, desenvolvido por meio da utilização de dados confiáveis, coletados pela interação contínua das diversas atividades coordenadas que o compõem.

Para se gerar dados confiáveis que conduzam a análises capazes de antever os tipos de defeitos decorrentes da reunião de diferentes atributos, é necessário conhecer a realidade do local onde será feito o estudo.

Torna-se então clara a enorme relevância do desenvolvimento de alternativas que auxiliem a caracterização local. Com este objetivo, isto é, desenvolver um método de caracterização de vias de terra adequado à realidade brasileira, Oda (1995) e Fontenele (2001), adaptaram separadamente o método criado por Eaton *et al.* (1987 a) ao município de São Carlos.

Faz-se necessário enfatizar que as estradas de terra, em geral, são resultantes da evolução de trilhas e caminhos precários, originalmente situados nos traçados naturais do terreno, respeitando a sinuosidade e os obstáculos naturais presentes no local. Na medida da crescente solicitação do tráfego é que passam a receber melhoramentos, visando oferecer condições de segurança e conforto aos usuários. (Oda, 1995)

Portanto, se não se pôde influenciar no planejamento, projeto e construção da estrada não-pavimentada que se interfira na sua conservação, por meio de manutenção regular e preventiva e de eventuais melhoramentos que possam vir a ser necessários.

A importância sócio-econômica das estradas de terra e o desinteresse do qual vêm sendo alvo, ao longo dos anos, imprimem essencial relevância à busca de novas alternativas, razoavelmente simples e de baixo custo, visando uma melhor utilização das informações confiáveis coletadas a fim do auxílio à tomada de decisão relativa às intervenções a serem feitas na malha viária em questão. Este diagnóstico sugere, pois, o desenvolvimento de um programa de manutenção e reabilitação destas vias e possibilitar assim um melhor direcionamento dos escassos recursos financeiros disponíveis.

Por meio da análise das abordagens existentes sobre avaliação de vias e com base no referido método de Eaton, estritamente para estradas não-pavimentadas, assim como em observações julgadas como pertinentes nos estudos de Oda (1995) e Fontenele (2001), esta dissertação de mestrado procedeu às variações para diagnóstico mais preciso dos fenômenos e atributos estudados bem como de suas relações com os defeitos incidentes na realidade local submetida ao estudo de caso.

Considerando-se o foco desta pesquisa na previsão de defeitos em estradas vicinais de terra, além da caracterização local, se fez necessário equacionar um mecanismo para prevê-los, guiado pela conexão de causa e efeito entre os atributos e os defeitos, isto é, quais características deveriam ser consideradas e o quanto cada uma delas influenciaria na formação dos defeitos medidos na área alvo do estudo de caso.

O fator de consideração que é a previsão levou a se perquirir as técnicas possíveis para tal intento. Com o objetivo de encontrar uma técnica que permitisse um critério de avaliação bem estruturado, baseada em modelagem matemática adequada e, ao mesmo tempo, apresentasse uma facilidade de implementação, investigou-se, na literatura existente, quais as ferramentas disponíveis para este problema específico.

Subramanian *et al.* (1993), publicaram um estudo que comparou os resultados obtidos por meio da utilização de duas ferramentas: os métodos estatísticos de classificação e a aplicação das Redes Neurais Artificiais. Os experimentos foram

executados para várias tipos e tamanhos de amostras, submetendo-as a diversas funções, as quais variavam em nível de complexidade. Esses autores concluíram que, em todas as circunstâncias, as redes neurais apresentaram resultados superiores.

O bom desempenho das Redes Neurais Artificiais foi confirmado por Falas (1995), quando ao publicar um artigo, no qual propõe as Redes Neurais Artificiais como alternativa aos métodos estatísticos utilizados para previsão e classificação, conclui: os resultados obtidos pela aplicação das Redes Neurais Artificiais se mostraram superiores aos oriundos pelo uso dos métodos estatísticos, quando utilizados para o mesmo fim.

Das ferramentas pesquisadas, para fins desta dissertação, desconsiderou-se a abordagem tradicional (utilização de métodos estatísticos, mais especificamente regressão linear múltipla) em favor da aplicação da abordagem conexionista, cuja utilização se configura, neste caso, na técnica das Redes Neurais Artificiais, parte constituinte da emergente Inteligência Artificial.

A Inteligência Artificial, cujo campo de pesquisa abrange os conhecimentos científicos multidisciplinares como os da Computação, Lingüística, Matemática, Neurofisiologia e Psicologia, se expandiu e é largamente utilizada na resolução de problemas complexos, com aplicabilidade de suas técnicas em variadas áreas do conhecimento humano.

Com a proposta de desenvolver Sistemas Inteligentes, cujo objetivo é simular o processo de decisão afeito aos seres humanos, a Inteligência Artificial se utiliza de diversas técnicas-chaves para representar o conhecimento humano, as quais podem ser aplicadas - isoladas ou conjuntamente - para auxiliar o processo decisório, por meio do qual são fornecidas as soluções para um problema.

Destaca-se dentre estas a técnica das Redes Neurais Artificiais, ferramenta bastante utilizada em engenharia de transportes desde a década de noventa e que se tomou como objeto deste estudo. Dentre suas principais vantagens, vale citar a aprendizagem por meio de exemplos, que possibilita melhorar seu desempenho com a experiência e adaptar-se a ambientes novos e dinâmicos.

O uso das Redes Neurais Artificiais com êxito em engenharia de transportes tem se verificado promissor, como provam os exemplos desenvolvidos nos campos da

infra-estrutura e planejamento de transportes que serão apresentados no capítulo três, destinado às mesmas.

No que tange ao segmento da previsão de defeitos em estradas de terra, não se identificou trabalhos com amplitude em nível de mestrado ou doutorado. No entanto, Rodgher e Oda (1997) apresentaram artigo em sede do Simpósio Internacional de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, tratando os dados de Oda (1995) obtidos de trechos do município de São Carlos, em uma Rede Neural Artificial, ferramenta utilizada por Rodgher, em sua tese de doutorado, aplicada à previsão das propriedades dos solos. As autoras anunciaram, a título de conclusão, a adequação da ferramenta aos campos respectivos.

Diante desse contexto, o propósito desta pesquisa é mostrar que o recurso computacional utilizado, as Redes Neurais Artificiais, pode, por meio da previsão e ordenação dos defeitos, facilitar a racionalidade do processo de decisão no que diz respeito às intervenções a serem executadas, nas vias objetivadas, segundo uma ordem de prioridade.

A necessidade de se buscar novas alternativas que auxiliem à tomada de decisão em relação às intervenções a serem executadas em tais vias, com vistas à implantação de um programa de manutenção regular e preventiva adquire uma importância específica para regiões em desenvolvimento, como o Brasil e, especificamente, para o Estado do Ceará, onde os recursos técnico-financeiros são limitados.

Por fim, diante da busca por soluções inovadoras para a previsão de defeitos em estradas de terra, as Redes Neurais Artificiais se apresentam, especificamente para o estudo de caso desta dissertação, como uma alternativa de fácil implementação e de baixo custo, o que as transforma em solução viável para a utilização, fato a ser comprovado no desfecho deste estudo, por meio da execução dos procedimentos experimentais.

Assim, esta pesquisa trará como resultado um MÉTODO de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra que auxiliará o tomador de decisão a identificar os pontos críticos e qual intervenção executar na via e, conseqüentemente, contribuirá para programas de manutenção regular e preventiva.

A representatividade estatística das estradas vicinais e a relevância do papel funcional das mesmas evidenciam a justificativa do tema da previsão de defeitos em estradas de terra, significando importância geral e específica.

A pesquisa de técnicas menos convencionais para a previsão dos defeitos propõe novas soluções em face das várias restrições existentes no campo de pesquisa e, por conseguinte, contribui para auxiliar o processo de tomada de decisão com relação às intervenções nas vias de terra, possibilitando que as mesmas sejam utilizadas com eficácia no desempenho de suas funções. Isso implicará no desenvolvimento das comunidades rurais envolvidas e, conseqüentemente favorecerá o desenvolvimento sócio-econômico do país.

Na seção seguinte, serão expostos alguns problemas existentes que justificam as condições precárias em que se encontram as vias não-pavimentadas no Brasil e no Estado do Ceará, com o objetivo de delimitar o problema de pesquisa. Em seguida apresenta-se a hipótese de pesquisa.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A manutenção das estradas de terra no Brasil é um processo diretamente associado a problemas que acarretam considerável comprometimento funcional destas vias. Além dos dificultadores de ordem prática, este campo de investigação merece maior atenção tanto das pesquisas quanto da decorrente produção teórico-científica com vistas ao encontro das soluções de perenização (manutenção da trafegabilidade durante todo o ano) das estradas não-pavimentadas a custos suportáveis.

Convém destacar os fenômenos e problemas significantes e inter-relacionados quanto às estradas não-pavimentadas no Brasil:

a) a grande extensão desta malha viária;

b) as condições técnicas precárias em que esta malha viária se encontra devido à falta de um programa de manutenção regular e preventiva;

c) a escassez de recursos técnico-financeiros.

Estes problemas têm conduzido a soluções emergenciais que servem apenas

como paliativo pois, características técnicas ruins, somadas às condições adversas que possam existir, especialmente em épocas chuvosas, impedem a livre trafegabilidade durante todo o ano e acarretam a médio e longo prazo, prejuízos econômicos e sociais irreversíveis.

Diante de acentuadas restrições, a solução para o problema das vias rurais não-pavimentadas se encontra, indubitavelmente, na implantação de sistemas de gerência, que tragam em seu bojo um programa de manutenção de caráter preventivo permeado por coordenação adequada, avaliação sistemática e manutenção eficiente da infra-estrutura de serviços básicos (Viviani, 1988).

A mais disso se faz necessário que esse sistema de gerência a ser implementado esteja atrelado ao conhecimento da realidade de cada local de intervenção para que, a partir de levantamentos detalhados, sejam gerados dados confiáveis que permitam análises capazes de antever os tipos de defeitos decorrentes da reunião de diferentes atributos. Ao considerar o elevado custo que importam tais procedimentos, vê-se então, a necessidade de se buscar alternativas eficazes, mas com razoável simplicidade e de baixo custo.

Diante da não identificação tanto na literatura especializada quanto nos órgãos oficiais de métodos de previsão de defeitos que possam, sem grande submissão às restrições financeiras e técnicas, ser desenvolvidos e implementados, afigura-se como hipótese de pesquisa a possibilidade de antevisão eficaz e otimizada dos defeitos em estradas não-pavimentadas como elemento estratégico no auxílio ao planejamento e à tomada de decisão quanto às intervenções a título de manutenção nestas vias.

A seguir, serão apresentados os objetivos a serem atingidos com os resultados deste trabalho.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Objetivo Geral

Afigura-se como objetivo geral o de demonstrar a viabilidade da utilização da técnica das Redes Neurais Artificiais - por meio de método próprio - como ferramenta de previsão dos defeitos em estradas vicinais de terra (ordenados por prioridade de

intervenção) a partir de atributos selecionados e extraídos segundo as especificidades da região.

A identificação dos defeitos e das severidades tem como fim subsidiar as atividades de um sistema de gerência, em especial o processo de tomada de decisão quanto à alocação dos recursos financeiros disponíveis para as intervenções a executar com vistas a perenização das vias. O trecho experimental deste estudo localiza-se no município de Aquiraz – CE.

1.3.2 Objetivos Específicos

a) identificar os defeitos relevantes, em relação ao conforto e segurança do usuário, presentes nas estradas vicinais de terra da área em estudo;

b) estruturar os defeitos identificados na área em estudo, de acordo com a freqüência e severidade de ocorrência;

c) analisar os critérios quanto a relevância na formação e desenvolvimento dos defeitos presentes na área em estudo;

d) identificar o modelo de Rede Neural Artificial mais adequado à hipótese;

e) desenvolver uma Interface de Aplicação utilizando o *software* Microsoft Excel 2000.

Na próxima seção será apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa para a concretização desta dissertação.

1.4 METODOLOGIA EMPREGADA

Para esta dissertação a metodologia disposta nas etapas seguintes guiou o desenvolvimento da pesquisa. Importante lembrar que, sem prejuízo do desenvolvimento harmônico, as etapas guardam entre si algumas relações intrínsecas e se comunicam em vários de seus aspectos, seguindo apresentadas de modo intencionalmente didático.

1.4.1 Revisão Bibliográfica

Está representada por meio do estudo do estado da arte dos dois grandes pontos que constituem o núcleo da dissertação: "Estradas Vicinais de Terra" e "Redes Neurais Artificiais". A revisão foi concretizada pela utilização de vasto material bibliográfico de produção científica: livros, dissertações, teses, artigos, anuários, manuais, anais de colóquios científicos, etc. As fontes estavam disponíveis, em sua maior parte, na biblioteca da Universidade de São Paulo, mas também em outras instituições bem como em pesquisas na rede mundial de computadores - *internet*.

Além dessas fontes, foram feitas entrevistas com especialistas tanto em Estradas de Terra quanto em Redes Neurais Artificiais, assim como com técnicos do Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Estado do Ceará – DERT.

Esta etapa da metodologia, representada nesta dissertação pelos capítulos dois e três, permite ao leitor uma visão geral dos aspectos históricos pertinentes aos dois pontos anteriormente citados e dos conceitos teóricos relevantes ao desenvolvimento do trabalho.

1.4.2. Eleição da Área do Estudo de Caso e Seleção dos Atributos

A inexistência de uma área apropriada sobre a qual se dispusesse de dados, necessários e suficientes, para o desenvolvimento da pesquisa conduziu à escolha da área do município de Aquiraz/CE para adoção de todos os procedimentos relativos ao estudo de caso, descritos em seguida nesta seção.

Ressalte-se que a eleição da área se pautou, ainda, nos fundamentos apresentados no capítulo cinco e foi antecedida pelo percurso de trechos representativos da malha não-pavimentada do município de Aquiraz/CE.

A seleção dos atributos, decorrente da investigação bibliográfica, guiou-se no exame das relações dos mesmos com os principais defeitos verificados em estradas de terra, considerando as adaptações oferecidas pela autora.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo cinco.

1.4.3 Coleta de Dados

De fundamental importância para o desenvolvimento desta dissertação, a coleta de dados foi subdividida em nove partes descritas a seguir:

a) levantamento topográfico, por meio do qual foram determinados: o perfil longitudinal e as seções transversais por metro em todo o trecho levantado;

b) divisão do trecho levantado em unidades amostrais e escolha de trezentas unidades representativas para formar o conjunto de dados com o qual a Rede Neural Artificial seria treinada e validada;

c) coleta de solo local de cada unidade amostral para posterior análise em laboratório, por meio de ensaios de Análise Granulométrica e Limites de Atteberg;

d) contagem do tráfego local;

e) identificação dos atributos coletados (clima, solo, tráfego, drenagem, tipo de seção transversal e valores de rampa) segundo grau de relação com os defeitos na via;

f) identificação e medição dos defeitos no trecho levantado topograficamente, com base no método de Eaton et al. (1987a) e observações feitas por Oda (1995) e Fontenele (2001);

g) entrevista com a população local e usuários das estradas estudadas com o objetivo de caracterizar a utilidade e o estado das mesmas;

h) observações visuais e registro fotográfico dos defeitos identificados no local;

i) entrevistas na sede do DERT para informação acerca dos procedimentos de manutenção das estradas de terra no Estado do Ceará e, especificamente, sobre eventuais quaisquer intervenções no trecho estudado.

Esta etapa encontra-se descrita na primeira metade do capítulo quatro denominada Primeiro Procedimento Experimental e foi executada entre os meses janeiro de 2001 e janeiro de 2003.

1.4.4 Estruturação dos Defeitos Identificados na Área em Estudo

Depois de identificados e medidos, os defeitos presentes no trecho estudado foram classificados segundo o grau de severidade: baixa, média e alta de acordo com Eaton *et al.* (1987a) bem como adaptações de Oda (1995) e Fontenele (2001).

Esta etapa está contida no Primeiro Procedimento Experimental, parte constituinte do capítulo quatro.

1.4.5 Análise dos Atributos Coletados na Formação dos Defeitos Identificados

Coletados os atributos, se fez necessário um estudo para estabelecer a relação existente entre cada atributo e os defeitos, com seus respectivos graus de severidade, identificados em campo.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo quatro, que está inserido no Segundo Procedimento Experimental.

1.4.6 Execução do Segundo Procedimento Experimental

Cumpridas as etapas anteriores, foi iniciada a aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais, constituída basicamente do tratamento dos dados coletados, treinamento e posterior validação do modelo de rede que obteve o melhor desempenho segundo critérios específicos encontrados no capítulo três.

As partes integrantes do Segundo Procedimento Experimental são:

a) ordenação das variáveis de entrada e saída;

b) formação das partições para treinamento, validação e teste;

c) definição das topologias e parâmetros a serem utilizados no treinamento do modelo de RNA;

d) verificação do nível de confiabilidade do modelo de RNA;

e) execução das etapas de treinamento, validação e teste.

Depois de treinado e validado o modelo de Rede Neural Artificial com o melhor desempenho, foi verificado o peso de cada atributo na previsão dos defeitos identificados no trecho em estudo.

Esta etapa encontra-se descrita no capítulo cinco (Estudo de Caso), que se encontra subdividido em três partes: caracterização da área em estudo, análise dos resultados do Primeiro Procedimento Experimental e análise dos resultados do Segundo Procedimento Experimental.

1.4.7 Análise dos Resultados

Por fim, no capítulo seis da dissertação está situada a análise final dos resultados obtidos, guardando correspondência com os objetivos geral e específicos estabelecidos inicialmente e culminando com a formulação das conclusões e sugestões para trabalhos posteriores.

1.4.8 Desenvolvimento da Interface de Aplicação

Diante do modelo de Rede Neural Artificial de melhor desempenho, iniciou-se o processo de replicação do mesmo em planilha eletrônica, quando, além de prever os defeitos para o trecho estudado a partir de determinados atributos, é calculado um índice de priorização de necessidade de intervenção.

Esta etapa encontra-se no capítulo cinco, no subitem análise dos resultados do Segundo Procedimento Experimental.

Na próxima seção será apresentada a estrutura desta dissertação, que compreende uma síntese do conteúdo de cada capítulo.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluído o presente, de caráter introdutório, e um anexo explicativo de como utilizar a interface desenvolvida.

O capítulo dois e o capítulo três integram uma revisão bibliográfica, onde foi feito o estudo do estado da arte dos dois grandes pontos pertinentes a este trabalho: “Estradas Vicinais de Terra” e “Redes Neurais Artificiais”. Uma descrição mais detalhada será mostrada a seguir.

O capítulo dois apresenta uma breve descrição das estradas vicinais de terra, uma síntese sobre a avaliação de vias não-pavimentadas através do levantamento dos defeitos presentes em sua superfície e uma incursão na análise da problemática ausência de um programa de manutenção preventiva, com destaque para a importância da perenização das estradas rurais na área em estudo.

No capítulo três são apresentados a noção histórica referente às Redes Neurais Artificiais e alguns conceitos relevantes a serem utilizados na formulação do modelo de RNA proposto.

O capítulo quatro trata de descrever os procedimentos experimentais necessários ao desenvolvimento do MÉTODO proposto. Este capítulo encontra-se dividido em duas fases: a primeira consiste no procedimento experimental de levantamento e análise dos dados de campo (Primeiro Procedimento Experimental) e a segunda diz respeito ao processo da construção e avaliação do modelo de previsão de defeitos com base nas Redes Neurais Artificiais (Segundo Procedimento Experimental) e o desenvolvimento de uma Interface de Aplicação, resultante do MÉTODO utilizado.

O capítulo cinco aborda o estudo de caso no município de Aquiraz-CE, quando, além de conter uma descrição e contextualização da região estudada, são apresentados e analisados os resultados obtidos por mérito dos procedimentos executados.

O capítulo seis apresenta as conclusões extraídas desde o ponto de partida da hipótese de pesquisa, visitando a execução e fundamentação dos procedimentos experimentais até o desfecho da apresentação dos dados e análise obtidas a partir das etapas antecessoras, como também consiste em algumas recomendações para futuros trabalhos com pertinência ao tema.

Por fim, em anexo encontra-se um texto explicativo sobre a utilização da Interface de Aplicação desenvolvida.

A figura 1.1, mostrada a seguir, apresenta um diagrama que sintetiza a estrutura desta dissertação:

Figura 1.1: Estrutura diagramática do trabalho

CAPÍTULO 2

ESTRADAS VICINAIS DE TERRA

Neste capítulo é apresentada uma visão geral sobre as estradas vicinais de terra. Abordam-se, inicialmente, os principais conceitos relacionados a tais vias e, em seguida, é feita uma descrição dos defeitos de maior importância, bem como trazidas considerações sobre as respectivas ocorrências. Posteriormente, aspectos sobre defeitos em estradas de terra são detalhados e, por fim, a manutenção em estradas não-pavimentadas, sua importância e as conseqüências de uma manutenção inadequada são explicitadas.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As estradas vicinais de terra, dada a sua grande importância sócio-econômica, sobretudo nos países em desenvolvimento, necessitam que sua superfície seja mantida permanentemente em boas condições de rolamento para proporcionar conforto e segurança aos usuários e assegurar a sua utilização durante todo o ano.

As condições, boas ou más, da superfície de rolamento de uma estrada dependem de atributos relacionados com as especificidades de cada região. Estes atributos, a dizer, tipo de solo, clima, topografia, tráfego e freqüência de manutenção, influenciam diretamente no aparecimento de defeitos com graus de severidade maiores ou menores no leito das vias, o que acarreta problemas que comumente, quando não reduzem a velocidade de tráfego, são os responsáveis pela interrupção da utilização da via.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS

2.2.1. Rodovias Vicinais

Segundo Mariotoni (1987), rodovias vicinais, também chamadas estradas rurais, agrovias ou ainda estradas municipais, podem ser definidas como as que funcionalmente se destinam a canalizar a produção para um sistema viário de nível superior, centros de armazenagem, consumo, industrialização, comercialização ou exportação e/ou assegurar acesso rodoviário a núcleos populacionais carentes.

De acordo com o DER-SP (1987), essas vias são, na sua maioria, estradas municipais, pavimentadas ou não, de uma só pista, locais e de padrão técnico modesto, compatível com o pequeno tráfego que as utiliza.

A figura 2.1 mostra uma estrada de terra pertencente ao trecho estudado no município de Aquiraz/CE.

Fig 2.1 Estrada vicinal de terra do município de Aquiraz

2.2.2. Estradas de Terra

Estradas não-pavimentadas, também chamadas "estradas de terra", freqüentes no meio rural, são justamente aquelas não revestidas por qualquer tipo de tratamento superficial, betuminoso ou de cimento Portland, e têm, geralmente, sua camada superficial constituída por solo local, às vezes em mistura com agregado granular, decorrente da sua manutenção, de acordo com Eaton *et al*. (1987a).

Essas vias, segundo a literatura especializada, se caracterizam por apresentarem, normalmente, um volume médio diário inferior a 400 (quatrocentos) veículos. Suas larguras variam muito e são modificadas de acordo com a necessidade imposta pelo tráfego. No que diz respeito à visibilidade dos usuários, é comum encontrar-se prejudicada pela poeira causada pela passagem dos veículos, na estação seca, e pelo crescimento de vegetação que avança o leito da estrada e, por força disto, dificultam o escoamento das águas superficiais.

Vale ressaltar, sob o ponto de vista geométrico, que essas vias estão condicionadas ao aproveitamento de trilhas ou caminhos existentes, com registro de ocorrência de rampas bastante fortes e curvas de raios reduzidos. (Carvalho, 1992)

2.3 PROBLEMAS EM ESTRADAS DE TERRA

As duas características geotécnicas básicas que devem ser observadas numa estrada de terra a fim de se garantir condições de tráfego satisfatórias são: capacidade de suporte compatível com o tráfego e condições de rolamento e aderência adequadas ao conforto e segurança do usuário.

Os problemas existentes nas estradas de terra – ondulações, atoleiros, areiões, poeira, buracos, erosões etc – têm como causas a falta de capacidade de suporte do sub-leito, o mau desempenho da superfície de rolamento e a deficiência no sistema de drenagem ou a combinação desses fatores (Mariotoni, 1987).

A figura 2.2 mostra a travessia de um caminhão, próximo à localidade de Telha, no trecho estudado, em que o mesmo enfrenta as péssimas condições da estrada, bastante prejudicada, dentre outros fatores, por um grande atoleiro.

Figura 2.2: Travessia de um atoleiro por caminhão AQZ_03

Oda (1995) enumera alguns critérios responsáveis pelo estado da superfície ou do leito carroçável de qualquer estrada. São eles: material da superfície, intempéries, tráfego e manutenção. Afirma, ainda, que uma boa estrada não-pavimentada deve contar com características como as abaixo relacionadas:

a) ter largura da faixa de rolamento suficiente para acomodar o tráfego da região;

b) apresentar resistência suficiente para suportar as cargas das rodas sem que ocorram deformações excessivas;

c) ter boa capacidade de suporte, a qual depende das características do material da superfície e da resistência do solo, à medida que o teor de umidade varia;

d) apresentar um bom sistema de drenagem para evitar que a ação erosiva da água danifique o subleito e a superfície de rolamento.

2.4 DEFEITOS EM ESTRADAS DE TERRA

Na literatura especializada encontram-se variadas definições de defeitos em superfícies de pavimentos, duas das quais seguem descritas:

Daroncho (2001), em sua dissertação de mestrado cuja abordagem dos defeitos na superfície de pavimentos está relacionada com a qualidade de viagens na via, os define como desarranjos que contribuem para aumentar ou gerar desconforto ao usuário da rodovia ou impedir o tráfego de veículos pela mesma.

A AUSTROADS, associação das autoridades australianas e neozelandesas responsáveis pelo setor de transportes nos respectivos países, cujo objetivo é o de promover o desenvolvimento integrado da gerência e operação do sistema de transportes com a consideração de fatores como gerência do tráfego, segurança dos usuários e meio ambiente, enuncia defeito de forma mais ampla:

"Denomina-se defeito 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" (Austroads, 1997).

Entende-se por defeito, então, qualquer alteração na superfície da estrada que influencie negativamente as suas condições de rolamento. Estas alterações estão hierarquizadas em graus ou níveis de severidade que variam de acordo com a

interferência na trafegabilidade da via. Vale ressaltar ainda que os defeitos podem ser atribuídos a alguns fatores como: tráfego, chuva, manutenção, drenagem e tipo de solo.

Considera-se severidade de um defeito a dificuldade ou o volume de dificuldades que um tipo de defeito impõe ao movimento de veículos (Daroncho, 2001).

Na prática, os graus ou níveis de severidade são determinados pela ocorrência de limites pré-definidos para medidas ou classificações sobre defeitos identificados em levantamento de campo, e são classificados, segundo Eaton *et al.* (1987a), usualmente como: não aplicável, baixa, média ou alta.

Os defeitos causam irregularidades, provocam desconforto e, dependendo do nível de severidade, podem levar sérios riscos à segurança do usuário, além de influir na velocidade de operação e noutros custos operacionais dos veículos (Oda, 1995).

2.4.1 Tipos de Defeitos

A avaliação das condições da superfície de rolamento de estradas de terra é feita por meio do levantamento dos defeitos no campo. Para fins de utilização em Sistemas de Gerência de Vias, o levantamento de campo envolve a seleção dos defeitos mais significativos, com suas respectivas medidas, e a avaliação da extensão e severidade de cada um deles.

Neste trabalho, a identificação dos defeitos e as respectivas classificações dos seus graus de severidades foram determinadas com base no método de avaliação de vias não-pavimentadas contido nos trabalhos de Eaton *et al.* (1987a) e Oda (1995), bem como em algumas observações pertinentes apresentadas por Fontenele (2001).

A partir das afirmações ora apresentadas, serão descritos esses defeitos, suas principais causas, assim como o critério de classificação de severidade adotado.

2.4.1.1 Secção Transversal Inadequada (STI)

Secção transversal que apresenta dificuldade de escoamento da água para as laterais da estrada. É causada pela execução do nivelamento da superfície (raspagem) sem posterior acréscimo de material, o que torna a estrada encaixada no terreno.

Os tipos de seção transversal inadequada mais freqüentes são classificados, por Eaton et al (1987a) em: seção em calha, seção abaulada e encaixada e seção mista, ilustradas, a seguir, nas figuras 2.3, 2.4 e 2.5.

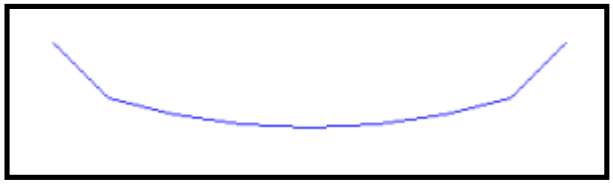

Figura 2.3: Seção transversal em calha

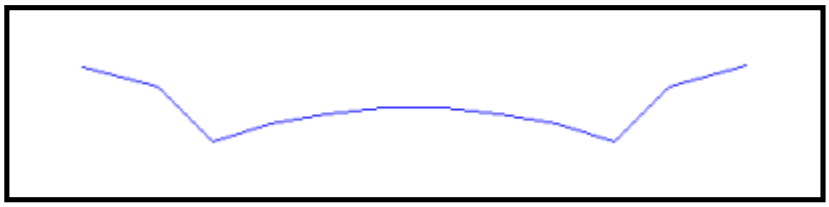

Figura 2.4: Seção transversal abaulada e encaixada

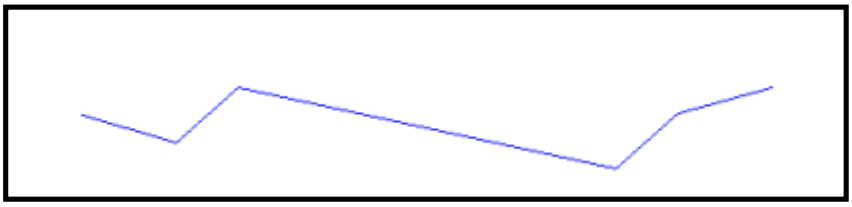

Figura 2.5: Seção transversal mista

A figura 2.6, exibida a seguir, ilustra uma seção transversal mista presente no trecho em estudo.

Figura 2.6: Exemplo de seção transversal mista – trecho em estudo

Conforme Eaton *et al*. (1987a), os níveis de severidade podem ser classificados em:

a) baixa: pequenas quantidades de água empoçada na superfície ou superfície plana sem declividade transversal;

b) *média:* moderadas quantidades de água empoçada na superfície ou esta em formato côncavo;

c) *alta:* grandes quantidades de água empoçada na superfície, ou severas depressões nesta.

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

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

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

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

2.4.1.2 Ondulações / Corrugações (OND)

As ondulações constituem sulcos em intervalos regulares ou irregulares no sentido perpendicular à direção do tráfego. Sua ocorrência se deve à falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência do sistema de drenagem.

A figura 2.7 em seguida ilustra a ocorrência de ondulações identificadas nas estradas avaliadas.

Figura 2.7: Exemplo de ondulações - trecho em estudo

As ondulações regulares ocorrem em estradas planas formadas por solos arenosos, enquanto que as ondulações irregulares ocorrem em estradas formadas por solos argilosos que, ao secarem, se contraem formando o defeito.

Segundo Eaton *et al*. (1987a) e Fontenele (2001) os níveis de severidade considerados são:

a) baixa: profundidades menores que 2,5 cm;

b) média: profundidades entre 2,5 e 7,5 cm;

c) alta: profundidades maiores que 7,5 cm;

2.4.1.3 Poeira (PO)

A poeira é causada pelo excesso de material fino no leito da estrada que durante o período de seca fica sem umidade, formando, pela a ação abrasiva do tráfego, as nuvens; está representada pela nuvem de pó levantada pela passagem dos veículos na estrada e encontra-se ilustrada na figura 2.8 mostrada em seguida:

Figura 2.8: Exemplo de poeira – trecho em estudo.

Conforme Eaton *et al*. (1987a) e Fontenele (2001), os níveis de severidade considerados são:

a) baixa: pouca poeira, nuvem fina, não obstrui a visibilidade, altura menor que 1 m;

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

c) alta: muita poeira, severa obstrução da visibilidade, altura superior a 2 m, tráfego muito lento ou parado.

2.4.1.4 Buracos/Panelas (BU)

Os buracos são decorrentes da plataforma mal drenada, provavelmente sem abaulamento transversal. Constituem pequenas depressões em forma de bacia na superfície da estrada, produzidas quando o tráfego desgasta pequena parte da superfície da estrada e têm o crescimento acelerado pela umidade interior do buraco. A figura 2.9 mostra uma das ocorrências de buracos identificadas nas estradas avaliadas.

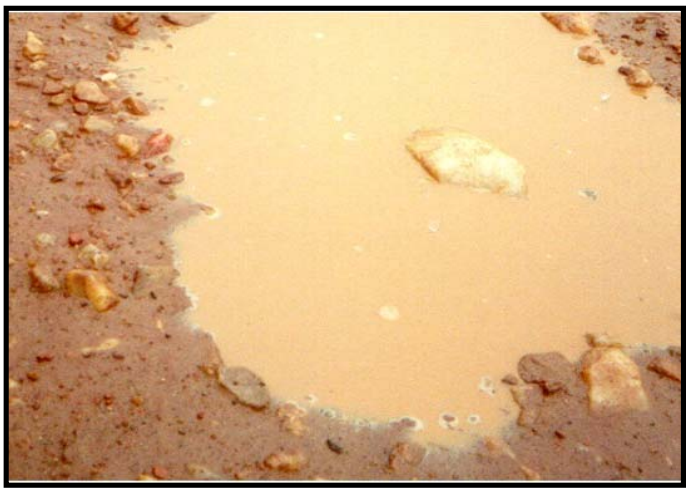

Figura 2.9: Exemplo de buraco – trecho em estudo

Oda (1995) e Fontenele (2001), consideram os níveis de severidades para o defeito buraco conforme a tabela 2.3, mostrada a seguir:

Tabela 2.3 Níveis de severidade da ocorrência de buracos

Diâmetro médio (m)	Profundidade (cm)			
	< 5	5 – 15	15 - 25	> 25
< 1,50 m	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO
1,50 – 2,50	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO
2,50 – 3,50	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO
>3,50	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO

Fonte: (ODA, 1995) e (FONTENELE, 2001)

2.4.1.5 Afundamento de Trilhas de Roda (ATR)

O afundamento de trilha de roda constitui uma depressão na superfície da estrada no local da trilha dos pneus do veículo. Segue ilustrado exemplo na figura 2.10 extraído do trecho em estudo:

Figura 2.10: Afundamento de trilhas de roda – trecho estudado

A ocorrência do ATR se deve às cargas repetidas do tráfego em épocas de chuva, quando o solo fica com a sua resistência diminuída devido à saturação, especialmente quando a capacidade de suporte do solo é baixa.

Fontenele (2001) considera os seguintes níveis de severidade:

a) baixa: profundidades menores que 5 cm;

b) média: profundidades entre 5 e 10 cm;

c) alta: profundidades maiores que 10 cm.

2.4.1.6 Segregação de Agregados (SAGR)

A segregação de agregados consiste em acúmulo de partículas de agregados soltos, contidas nos solos granulares, que se soltam da superfície de rolamento devido ao tráfego, se colocando fora das trilhas de roda e formando bermas no centro ou ao

longo do acostamento da estrada ou ainda na área menos trafegável, paralela à linha central da estrada. Ao observar-se a figura 2.11 a seguir, nota-se uma visível segregação de agregados à esquerda da via.

Figura 2.11: Segregação de agregados à esquerda da via – trecho estudado

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

a) baixa: bermas menores que 5 cm de altura;

b) média: bermas entre 5 e 10 cm de altura;

c) alta: bermas maiores que 10 cm de altura.

2.4.1.7 Areiões (AR)

Os areiões constituem bermas de areia solta, formadas pela ação do tráfego, no centro das trilhas de roda e laterais da estrada, as quais impedem a saída de água.

Ocorrem em regiões geralmente planas e de solo arenoso onde é inexistente ou desprezível a quantidade de material ligante (argila). Sua causa se deve à ação do tráfego e lavagem do material pela água da chuva.

A figura 2.12, exibida a seguir, ilustra uma das ocorrências de areião no trecho avaliado.

Figura 2.12: Areião à direita da via – trecho estudado

Santos *et al.* (1988) e Fontenele (2001) consideram os níveis de severidade:

a) baixa: bermas menores que 5 cm de altura;

b) média: bermas entre 5 e 15 cm de altura;

c) alta: bermas maiores que 15 cm de altura.

2.4.1.8 Erosão (ERO)

A erosão é representada por sulcos formados pela ação da água que com a ação das enxurradas evoluem para grandes ravinas.

A figura 2.13, em seguida, exibe um exemplo de erosão na porção lateral da estrada contida no trecho estudado.

Figura 2.13: Exemplo de erosão – trecho estudado

A erosão é encontrada em estradas com rampas acentuadas, sem declividade transversal adequada e de drenagem insuficiente.

A ausência de um sistema de drenagem eficiente favorece ao acúmulo de água na superfície da estrada e, por conseguinte, ao erodibilidade do solo.

Santos *et al.* (1988) e Fontenele (2001) classificam os níveis de severidades de acordo com os valores expostos na tabela 2.4, mostrada a seguir:

Tabela 2.4: Níveis de severidade da ocorrência de erosão

LARGURA (m)	PROFUNDIDADE (cm)		
	< 15	15 – 30	> 30
< 0,50	BAIXA	MÉDIA	ALTA
0,50 – 1,50	BAIXA	MÉDIA	ALTA
> 1,50	MÉDIA	ALTA	ALTA

Fonte: (Santos *et al*., 1988) e (Fontenele, 2001)

2.4.1.9 Atoleiro (ATOL)

O atoleiro é verificado pelo acúmulo de água na estrada em solo com pouca capacidade de suporte e com ausência ou deficiência no sistema de drenagem.

A figura 2.14, em seguida, exibe um caminhão que, durante a travessia de um atoleiro, permaneceu por algum tempo impedido de continuar a sua viagem.

Figura 2.14: Exemplo de atoleiro – trecho estudado

2.5 MANUTENÇÃO DE ESTRADAS DE TERRA

2.5.1 Conceitos Básicos

A manutenção das estradas é definida por Roberts e Robinson, (1983) e OECD, (1988) *apud* Oda, (1995) como um conjunto de atividades executadas para minimizar defeitos e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais dos veículos, prolongar a vida das estradas e proporcionar aos usuários um meio seguro, econômico e confortável de acesso para áreas rurais.

A manutenção rodoviária consiste num amplo conjunto de atividades destinadas a preservar em longo prazo a condição das rodovias, procurando assegurar, ao menor custo possível, o seu funcionamento adequado, permitindo custos razoáveis para a operação dos veículos (Schliesler e Bull, 1994).

Os serviços de manutenção em uma via não-pavimentada podem ser classificados, de acordo com o DER-SP (1987), em três categorias:

a) *serviços de rotina*: conjunto de operações que se realizam de forma contínua e sistemática e cuja importância relativa depende da via e região onde ela se encontra;

b) *serviços especiais*: têm o objetivo de melhorar as condições originalmente apresentadas pela rodovia, através da execução, sem interrupção do tráfego, de obras de pequeno vulto, complementares à construção inicial;

c) *serviços emergenciais*: diz respeito aos serviços destinados a dar novamente condições de utilização a trechos que tiveram o seu tráfego interrompido em conseqüência de algum fato extra.

2.5.2 Importância da Manutenção e Conseqüências da Manutenção Inadequada

2.5.2.1 Importância da Manutenção

Nos países em fase de desenvolvimento a economia depende fundamentalmente das atividades do setor primário. O primeiro acesso à rede de transporte de bens e

pessoas do meio rural é, na maior parte das vezes, uma estrada de terra. Dessa forma, é inteiramente relevante para a economia desses países, como o Brasil, uma manutenção adequada das estradas de terra (Carvalho, 1992).

Conservar a superfície de rolamento razoavelmente lisa, firme e livre da perda excessiva de material solto, bem como, manter a declividade transversal do leito da estrada apropriada para assegurar o escoamento superficial das águas são os principais objetivos da manutenção rodoviária (DNER, 1981).

A implantação de programas de manutenção rodoviária exige um planejamento cuja ação seja bem fundamentada na realidade e que seus objetivos possam ser atingidos com eficiência, isto é, se obter o máximo resultado com o menor volume de recursos possível.

Esse planejamento deve levar em consideração, não apenas as necessidades reais, mas também aquelas previstas para o futuro imediato, sejam sob o aspecto do aumento populacional ou sob o da expansão territorial, os quais podem demandar um aumento na utilização da malha rodoviária.

Além disso, o planejamento de programas de manutenção deve se basear no inventário das estradas, na quantificação de suas condições superficiais, na determinação das prioridades e alternativas e no cálculo dos custos de manutenção (Headquarters Departament Of The Army, 1995).

Os programas de manutenção mostram-se, então, estar diretamente relacionados com a qualidade das estradas e, conseqüentemente, com a qualidade de vida das populações locais e a sua aplicação correta proporciona um alto nível de serviço pois quanto melhores as condições da superfície de rolamento da estrada, menor o custo de operação dos veículos e menor o custo total de transportes.

2.5.2.2 Conseqüências da Manutenção Inadequada

A manutenção inadequada ou a falta da mesma nas rodovias implica, em uma primeira análise, num aumento do custo operacional do transporte de bens e passageiros, uma vez que o custo de transporte é diretamente afetado, principalmente

pelos seguintes itens: aumento do consumo de combustível, aumento da necessidade de manutenção dos veículos e diminuição da vida útil dos mesmos.

Esse efeito pode ser mais agravado nas estradas de terra, uma vez que estas são menos resistentes aos agentes destrutivos da natureza.

Observam-se, numa segunda análise, mais alguns fatores de importância econômica, social e cultural tais como a redução da velocidade comercial, ocorrência de períodos em que o tráfego é difícil ou impossível e, eventualmente, diminuição da segurança do usuário.

Por fim, à luz de uma terceira análise, constata-se, de acordo com observações feitas por Carvalho (1992), que estradas de terra mal conservadas e com projeto geométrico ruim representam uma discriminação da sociedade em relação às comunidades rurais de produção e consumo que utilizam a estrada. Dando seguimento ao mesmo raciocínio, o autor apresenta a discriminação geográfica como um dos maiores obstáculos ao processo de evolução e desenvolvimento das atividades sociais, econômicas e culturais. E define, concluindo:

> *"Discriminar geograficamente é separar localidades de forma que essas não tenham acesso aos benefícios da ciência, da arte e da cultura. Isso coloca em inferioridade coletividades que, por falta de acesso ao conhecimento, habituam-se aos poucos recursos oferecidos pela área geográfica onde vivem – operam atividades de sobrevivência."*

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura consultada permitiu o levantamento dos critérios existentes para a avaliação da superfície de estradas não-pavimentadas embora tenha sido constatado que o campo específico da manutenção de estradas de terra está a merecer maior atenção, fato comprovado pelo pouco material disponível sobre o assunto. Apesar disso, convém destacar, no tocante às estradas de terra, a relação existente entre a ocorrência e o agravamento dos defeitos na superfície de rolamento e alguns atributos existentes que variam de acordo com as especificidades de cada local. São eles: clima, topografia, tipo de solo, tráfego, e ausência ou presença de manutenção regular.

Vale lembrar que esta relação é justificada por meio da premissa, defendida por Santos et al. (1988), de que os problemas (ou defeitos) mais comuns em estradas de terra 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.

Convém destacar que essa relação intrínseca entre os atributos e os defeitos tem especial relevância para esta dissertação devido consistir no ponto a partir do qual se irá prever os defeitos identificados em campo, o que será detalhado no capítulo quatro, por alusão ao MÉTODO.

CAPÍTULO 3

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Neste capítulo apresentam-se conceitos fundamentais sobre as Redes Neurais Artificiais (RNA), além de algumas aplicações desenvolvidas na infra-estrutura de transportes. Abordam-se, inicialmente, algumas definições relevantes ao entendimento desta dissertação. Em seguida é feita uma síntese do histórico das pesquisas sobre Redes Neurais Artificiais e, posteriormente, o modelo de neurônio artificial é apresentado, assim como as principais características das Redes Neurais Artificiais. Por fim as Redes Neurais Artificiais do tipo *Multilayers Perceptron* são apresentadas e sua adequação é justificada.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A palavra inteligência tem sua origem do latin *inter* (entre) e *legere* (escolher), que significa aquilo que nos permite escolher entre uma coisa ou outra. Assim, pode-se definir inteligência como a habilidade de realizar de forma eficiente uma determinada tarefa, isto é, o resultado dos processos de aquisição, armazenamento em memória, recuperação, combinação, comparação e do uso de novos contextos da informação e das habilidades conceituais.

De acordo com a Enciclopédia Britânica, "inteligência é a habilidade de se adaptar efetivamente ao ambiente, seja fazendo uma mudança em nós mesmos ou mudando o ambiente ou achando um novo ambiente". Isto é, ela incorpora aprendizado (uma mudança em nós mesmos), manufatura e abrigo (mudança do ambiente) e migração (encontrando um ambiente adequado). Além de englobar aspectos importantes como linguagem, pensamento, memória, raciocínio, capacidade para aprendizagem e integração de várias modalidades sensoriais, as quais devem ser utilizadas efetivamente pelo cérebro humano de modo a prover a adaptabilidade dos seres humanos. Portanto, "inteligência não é um processo mental único, mas sim uma combinação de muitos processos mentais dirigidos à adaptação efetiva do ambiente".

Desta forma, a Inteligência Artificial, cujo campo de pesquisa interdisciplinar encontra-se amplamente inserido em inúmeras áreas do conhecimento humano, se

propõe a produzir, por meio de um conjunto de técnicas-chaves de programação, sistemas capazes de dotar as máquinas de algum tipo de habilidade tendente a simular a inteligência humana.

Dentre essas técnicas-chaves, cabe ressaltar as Redes Neurais Artificiais, que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e adquirem conhecimento por meio da experiência. Esta técnica servirá como ferramenta fundamental para a estruturação do modelo específico de previsão de defeitos em estradas de terra proposto por este trabalho.

3.2 DEFINIÇÕES

As Redes Neurais Artificiais são processadores maciçamente paralelos e distribuídos que têm uma propensão natural para armazenar conhecimento proveniente da experiência e torná-lo útil, desta forma, assemelhando-se ao cérebro humano em dois aspectos (Haykin, 1994):

a) o conhecimento é adquirido pela rede por meio de um processo de aprendizado; e

b) as intensidades das conexões entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são usadas para armazenar conhecimento.

As RNA são, então, modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e adquirem capacidade por meio de aprendizado e posterior generalização.

Há vários tipos de Redes Neurais Artificiais, mas todas têm dois elementos em comum: podem ser descritas em termos de seus neurônios individuais e das conexões entre eles (topologia). Podem ainda ser descritas em termos das suas regras de aprendizado. Estes três componentes (dois elementos e um fenômeno) constituem o modelo de rede neural.

Sistemas de computação baseados em Redes Neurais Artificiais são compostos de um grande número de elementos de processamento denominados neurônios e têm a capacidade de receber ao mesmo tempo várias entradas e distribuí-las de maneira

organizada. As informações armazenadas por uma rede neural são compartilhadas por todas as suas unidades de processamento.

Segundo Braga *et al.* (1998) as RNA são sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples, também denominados neurônios ou nós, que calculam determinadas funções matemáticas, normalmente não-lineares. Os nós são conectados por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. Cada unidade de processamento faz operações sobre as entradas recebidas pelas suas conexões e interagem com as outras, promovendo, assim, o "comportamento inteligente" da rede.

Um simulador de rede neural é um programa (conjunto de instruções computacionais) que cria um modelo de neurônios e de conexões entre eles e os une a uma regra de aprendizagem para, então, treinar tal modelo. Há vários simuladores comercialmente disponíveis que simplificam grandemente a modelagem de Redes Neurais Artificiais.

3.3 HISTÓRICO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As primeiras simulações em RNA contam por volta de 1940, feitas pelos neurofisiologistas Donald Hebb e Karl Lashley.

O primeiro modelo de um neurônio artificial foi proposto pelo neurofisiologista Warren McCulloch e pelo matemático Walter Pitts em 1943 (McCulloch and Pitts, 1943). O trabalho de McCulloch e Pitts intitulado *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity,* descreve um cálculo lógico das redes neurais, resultante da unificação dos estudos de neurofisiologia e da lógica matemática e propõe um modelo simplificado de neurônios biológicos, teve bastante repercussão no meio científico, tendo influenciado o matemático John Von Neumann na construção do EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) que foi desenvolvido a partir do ENIAC (Eletronic Numerical Integrator and Computer). O ENIAC foi o primeiro computador eletrônico de propósito geral (Loesch & Sari, 1996).

Em 1949 Donald Hebb escreveu um livro intitulado "*The Organization of Behavior*", suas idéias não eram completamente novas, mas Hebb foi o primeiro a

propor uma lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurônios. Também proveniente deste período foi a construção do primeiro neurocomputador denominado *Snark*, por Marvin Minsky, em 1951. Embora nunca tenha executado qualquer função de processamento de informação interessante, o *Snark* serviu de inspiração para trabalhos futuros.

Em 1956, durante a 1.ª Conferência Internacional de Inteligência Artificial, foi apresentado um modelo de Rede Neural Artificial pelo pesquisador Nathaniel Rochester, da IBM (International Business Machines Corporation). Seu trabalho consistia numa simulação de 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 Rossenblatt, 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 publicaram um livro chamado "*Perceptron*", onde resumiram e criticaram seriamente a pesquisa sobre Redes Neurais Artificiais. Devido à importância e ao respeito que a comunidade científica tinha por Minsky e Papert, uma retração nos investimentos e programas de pesquisa para essa tecnologia foi inevitável.

Um período de pesquisa silenciosa seguiu-se, tempo em que poucos resultados foram publicados. Até que em 1982, o físico e biólogo do Instituto de Tecnologia da Califórnia John Hopfield deu um novo impulso às Redes Neurais Artificiais, contestando, com sucesso, as teses matemáticas de Minsky e Papert.

Rumelhart, Hinton e Willians forneceram a solução para o até então problema de associação de padrões, para conjuntos não separáveis linearmente, a qual consistiu na chamada *Regra Delta Generalizada,* também conhecida como *Algoritmo de Correção e Erros de Retropropagação (Backpropagation)* para redes *Perceptron* de várias camadas de neurônios (*Multilayer Perceptron - MLP*).

Com o trabalho de Hopfield e com a criação do algoritmo *Backpropagation* para o treinamento de redes com múltiplas camadas em 1986, por Rumelhart, Hinton e

Willians, as Redes Neurais Artificiais ganharam novamente credibilidade. Houve, em termos de publicação, uma avalanche de trabalhos, o que deixou claro que as pesquisas nunca pararam, pois nem todos esses trabalhos poderiam ter sido produzidos em tão pouco tempo (Rodrigues, 2002).

3.4 O NEURÔNIO ARTIFICIAL

Um neurônio é a unidade de processamento de informação fundamental para a operação de uma rede neural.

Segundo Haykin (1999), se faz necessário identificar cinco elementos básicos do neurônio artificial: um conjunto de sinapses ou elos de conexão, um somador, um limiar, uma função de ativação e uma saída, os quais se encontram ilustrados na figura 3.1 e serão descritos posteriormente.

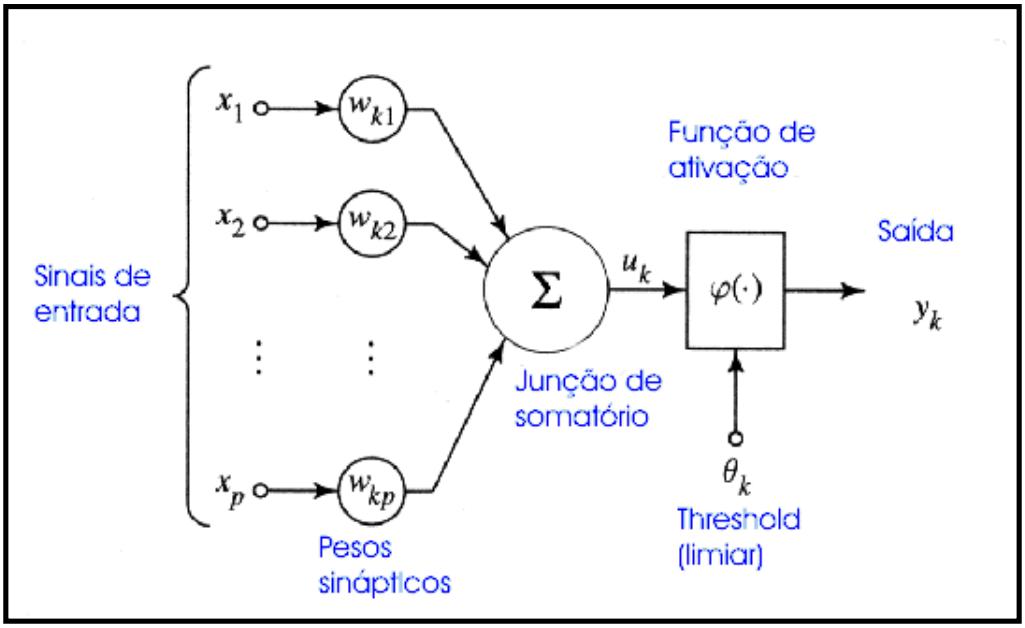

Figura 3.1: Modelo não-linear de um neurônio
Fonte: adaptado de Haykin (1994)

a) sinapses ou elos de conexão: caracterizadas por um peso (w), que representa a sua intensidade. É importante notar como são escritos os índices do peso w_{kj}: o primeiro se refere ao neurônio em questão e o segundo ao terminal de entrada da sinapse à qual o peso se refere;

b) somatório: tem a função de somar os sinais de entrada, ponderados pelas respectivas sinapses ou pesos do neurônio. A equação 3.1, mostrada a seguir, representa este somatório:

$$u_k = \sum_{j=1}^{m} w_{kj} x_j \qquad (3.1);$$

em que:

w_{kj} : pesos sinápticos do neurônio k;

x_j : sinais de entrada; e

u_k: saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.

c) função de ativação: tem a função de restringir (limitar) o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída a um valor finito. O intervalo normalizado da amplitude de saída de um neurônio é escrito como o intervalo fechado [0,1] ou, alternativamente [1,1];

d) limiar: tem uma função determinante na saída do neurônio. Se o valor de u_k for menor que este limiar, então a saída do neurônio fica inibida, se for maior, fica ativa;

e) bias: entrada adicional que pode ser acrescentada ao neurônio artificial, de valor de entrada fixado em +1. Seu peso de conexão, w_{0j}, é ajustável como qualquer outro peso de conexão. Sua função é prover meios de transladar o valor de limiar da função de transferência (Loesh & Sari, 1996);

f) saída: denominada por y_k. A equação 3.2, mostrada a seguir, propricia o cálculo do valor na saída do neurônio:

$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \qquad (3.2);$$

em que:

y_k: sinal de saída do neurônio k;

$\varphi(.)$: função de ativação;

u_k: saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.; e

b_k: *bias*.

A equação 3.2 pode ser escrita ainda da seguinte forma:

$$v_k = u_k + b_k \qquad (3.3);$$

em que:

v_k: potencial de ativação do neurônio k;

u_k: saída do combinador linear devido aos sinais de entrada.; e

b_k: *bias*.

De forma geral, a operação de um neurônio da rede se resume em:

a) sinais são apresentados à entrada;

b) cada sinal é multiplicado por um peso que indica sua influência na saída da unidade;

c) é feita a soma ponderada dos sinais que produz um nível de atividade.

d) se este nível excede um limite (*threshold*) a unidade produz uma saída;

3.5 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

A habilidade de adaptação e aprendizagem pelo ambiente - típica das RNA - significa que modelos de redes neurais podem lidar com dados imprecisos e situações não totalmente definidas. Uma rede treinada de maneira razoável tem a habilidade de

generalizar quando é apresentada às entradas que não estão presentes em dados já conhecidos por ela.

O desenvolvimento de RNA tem então, como objetivo, fornecer subsídios para que o computador extraia características dos dados a partir de um conjunto de situações conhecidas e, desta forma, armazenar o conhecimento adquirido e aplicá-lo em situações reais. Ou ainda, como lembra Tubb (1993), compreender o funcionamento do cérebro humano e, de alguma forma, reproduzi-lo, valendo-se de alguns benefícios:

a) habilidade de aprender com exemplos, objetivando aperfeiçoar seu desempenho e se adaptar aos novos cenários;

b) habilidade para tratar com ruídos, isto é, apesar da existência de algumas falhas no sistema, continuam oferecendo respostas adequadas por um período significativo de tempo;

c) velocidades consideráveis de processamento, considerando o grande número de unidades de processamento operando de forma paralela.

Uma das características mais significativas das RNA é a habilidade de aproximar qualquer função continua não linear, independente do número de variáveis envolvidas.

Para esta dissertação, a rede neural utilizada foi a *Multilayer Perceptron (MLP)*, por apresentar, segundo a literatura especializada, características que favorecem à classificação de padrões, como por exemplo a capacidade de aprender por meio de exemplos para posterior generalização. Portanto optou-se por se ater a ela sob o ponto de vista do modo de funcionamento e de características específicas como: topologia ou arquitetura da rede, função de ativação e processos de aprendizagem.

3.6 *PERCEPTRON* MULTICAMADAS (*MULTILAYER PERCEPTRON – MLP*)

3.6.1 Definição

A rede *Perceptron* Multicamadas é formada por neurônios do tipo *Perceptron* derivados do modelo de McCulloch e Pitts. A rede *Perceptron* constituída apenas de duas camadas - a de entrada e a de saída - só é capaz de classificar padrões linearmente

separáveis. Diante dessa dificuldade uma possível aproximação seria usar mais que um *Perceptron:* cada um deveria ser empregado para distinguir seções linearmente separáveis da entrada e então combinariam suas saídas em outro *Perceptron* que poderia produzir uma indicação final da classe a que a entrada correspondente pertence (Brondino, 1999).

A rede MLP então, arranja as unidades *Perceptrons* em camadas e passa a contar com uma ou mais camadas intermediárias, nas quais cada unidade funciona como um P*erceptron*, exceto pela função de ativação que passa a ser a *sigmoidal.*

Usualmente as camadas são classificadas em três grupos:

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

b) camadas intermediárias ou ocultas: onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas. Podem ser consideradas como extratoras de características;

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

A figura 3.2, exibida a seguir, apresenta um esquema de uma Rede Neural Artificial do tipo MLP:

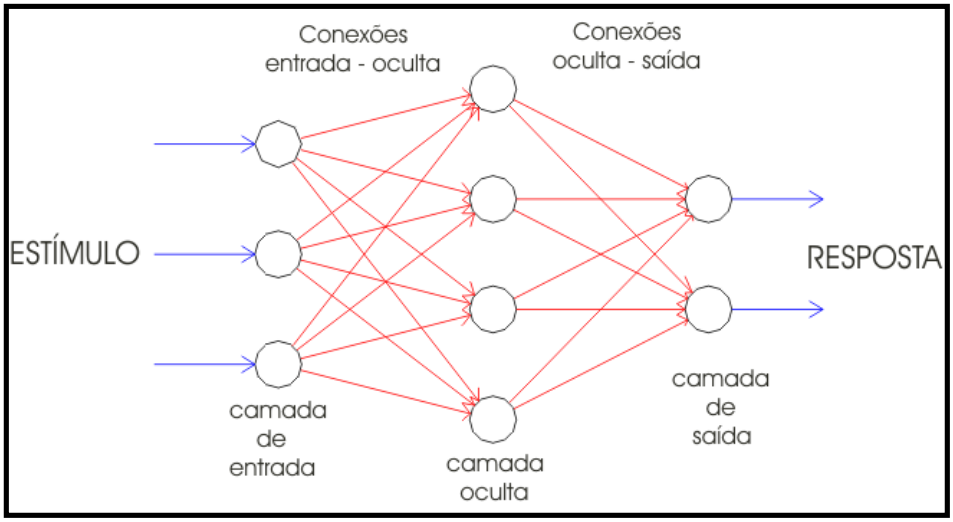

Figura 3.2: Esquema de uma rede neural artificial com três camadas

Para o treinamento dessas redes, normalmente utiliza-se o algoritmo *Backpropagation*, desenvolvido por Rumelhart e colegas em 1986.

3.6.2 Função de Ativação

As funções de ativação têm por finalidade transformar a entrada total recebida por um neurônio em um estado ou sinal de ativação (Furtado, 1998).

Segundo Haykin (1994), o valor da 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.

Um dos principais aspectos relacionados ao projeto das redes MLP diz respeito à função de ativação a ser utilizada. Braga *et al*. (2000) afirma que esta função deve ser não-linear e diferenciável. A não linearidade é atribuída ao fato de ter sido provado 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 é a *sigmoidal logística* que é não linear, crescente e diferenciável, conforme figura 3.2. Vale ressaltar que a linearidade da função *sigmoidal* é suave, isto é, esta função é diferenciável em qualquer ponto.

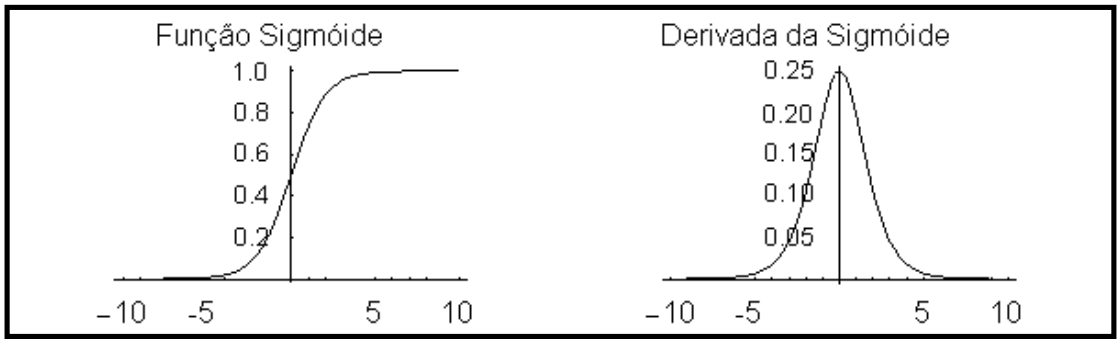

Figura 3.3: Gráficos da função *sigmoidal* e da sua derivada.

O valor da função sigmóide é determinado, de forma geral, conforme a equação 3.4., mostrada a seguir:

$$f(u) = \frac{1}{1+e^{-u}} \tag{3.4}$$

ou ainda, especificamente:

$$y_k = \varphi(v_k) = \frac{1}{1+\exp(-a\,v_k)} \tag{3.5}$$

em que:

a: parâmetro que determina a inclinação da curva;

v_k: soma ponderada de todas as entradas sinápticas acrescentadas do bias; e

y_k: saída do neurônio k.

Os limites da função podem variar entre 0 e 1 (unipolar) ou, em alguns casos, entre –1 e 1 (bipolar). Para este segundo caso, considera-se a função assimétrica em relação à origem (Furtado, 1998).

3.6.3 A Arquitetura

A forma como os neurônios são organizados numa rede neural é denominada topologia ou arquitetura da rede. Essa arquitetura irá afetar 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 seu treinamento (Raia Jr., 2000).

Normalmente as arquiteturas são classificadas em quatro tipos, de acordo com as camadas consideradas: uma camada, multicamadas, recorrentes, entrelaçadas (Furtado, 1998).

Dentre as topologias, vale ressaltar a *Multilayer Perceptron*, que é composta de uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída.

As redes multicamadas, como a *Multilayer Perceptron* - MLP, são caracterizadas pela presença de uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas, onde se localizam os neurônios cuja função é interferir entre o sinal externo e a saída.

Essas redes podem ser usadas como classificadoras: quando se utiliza apenas uma camada oculta, a classificação das características acontece pela combinação de retas, podendo assim implementar qualquer função contínua, como ilustrado na figura 3.4.

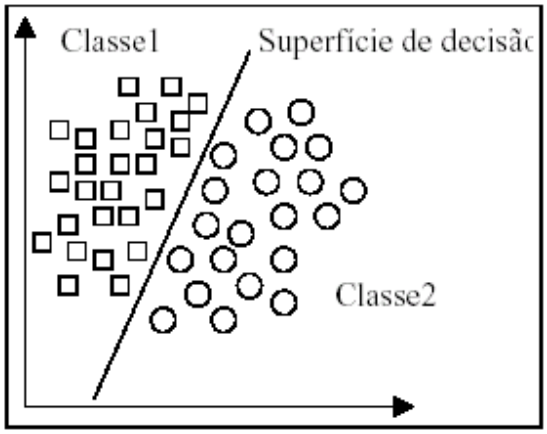

Figura 3.4: Exemplo hipotético de classificação com separação, por uma reta, de duas classes de padrões no espaço de características

No entanto, as redes MLP também podem tratar com dados que não são linearmente separáveis, isto é, a classificação das características é feita por intermédio de regiões convexas, abertas ou fechadas, sendo possível à aproximação de qualquer função, representada pela rede com duas ou mais camadas ocultas (Braga *et al*., 2000).

3.6.4 Processos de Aprendizagem

A característica mais importante das Redes Neurais Artificiais é a capacidade de aprender a partir de exemplos. A aprendizagem ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas (Rodrigues, 2002).

A aprendizagem é definida por Haykin (1999) como um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados por meio de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida.

Determina-se o tipo de aprendizagem de acordo com a maneira pela qual os parâmetros são modificados na rede. Classificam-se os processos de aprendizagem segundo dois critérios: os paradigmas de treinamento e as regras ou algoritmos de aprendizagem (Furtado, 1998).

3.6.4.1 Paradigmas de Treinamento

De acordo com Furtado (1998), os paradigmas de treinamento determinam a maneira como uma RNA se relaciona com seu ambiente, de modo que, a cada nova iteração, a rede saiba ainda mais sobre o mesmo.

Para o caso das MLP, utiliza-se a aprendizagem supervisionada que se caracteriza pelo fato de ser necessário um agente externo que, embora não manipule os pesos da RNA, os quais são determinados aleatoriamente, indicam à rede qual a resposta desejada para o padrão de entrada. Neste tipo de aprendizagem é apresentado à rede um conjunto de entradas acompanhadas de suas respectivas saídas. O objetivo deste procedimento é minimizar o sinal de erro, que é uma função da diferença entre a saída desejada e aquela fornecida pela rede. Esta minimização se dá por meio do ajuste dos pesos da rede.

3.6.4.2 Regras ou Algoritmo de Aprendizagem

O conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizagem é denominado algoritmo de aprendizagem.

Essas regras têm a função de determinar a maneira como se realizam os ajustes de pesos. Para o caso das redes MLP, é utilizado o aprendizado por correção e erro, também chamado Regra Delta Generalizada, ou mais comumente *Backpropagation,* que é a extensão do método do gradiente descendente para redes de múltiplas camadas.

O termo *backpropagation* surge do fato de que o algoritmo se baseia na "retropropagação" dos erros para os ajustes de pesos das camadas intermediárias, isto é, segundo Raia Jr. (2000), quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória - a diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro.

O objetivo do processo de treinamento é a minimização do valor do erro. Para tal intuito, o valor dos pesos deve ser ajustado a cada nova iteração. O algoritmo *backpropagation* proporciona o ajuste dos pesos na seguinte ordem: inicialmente são ajustados os pesos da camada de saída e sucessivamente são ajustados os pesos das camadas precedentes.

3.6.4.3 Funcionamento do Backpropagation

O *backpropagation,* como mencionado anteriormente, é um algoritmo supervisionado que utiliza pares de entrada e saída para, por meio de um mecanismo de correção e erros, ajustar os pesos da rede, com vistas à minimização do erro. Este algoritmo baseado na regra delta proposta por Widrow e Hoff, e por esta razão, também denominado regra delta generalizada, propõe uma forma de definir o erro dos neurônios das camadas intermediárias e possibilita o ajuste de seus pesos, com utilização do método do gradiente descendente (Braga *et al*., 2000).

O treinamento ocorre em duas fases denominadas: *fase forward* e *fase backward.*

A *fase forward* é utilizada para definir a saída da rede para um dado padrão de entrada. Esta fase é composta pelas seguintes etapas:

a) a entrada é apresentada à primeira camada da rede, a camada C^0 ;

b) para cada camada C^i a partir da camada de entrada:

- após os neurônios da camada C^i (i >0) calcularem seus sinais de saída, estes servem como entrada para a definição das saídas produzidas pelos neurônios da camada C^{i+1};

c) as saídas produzidas pelos neurônios da última camada são comparadas às saídas desejadas.

A *fase backward* utiliza a saída desejada e a saída fornecida pela rede para atualizar os pesos de suas conexões, parte da última camada até chegar à camada de entrada e é composta pelas etapas listadas a seguir:

a) os neurônios da camada atual ajustam seus pesos de forma a reduzir os seus erros;

b) o erro de um neurônio das camadas intermediárias é calculado utilizando os erros dos neurônios da camada seguinte conectados a ele, ponderados pelos pesos das conexões entre eles.

O algoritmo *backpropagation* pois, que faz uso dessas duas fases, obedece à seqüência (Braga *et al*., 2000):

a) inicializar pesos e parâmetros;

b) repetir até o erro ser mínimo ou até a realização de um dado número de ciclos:

- para cada padrão de treinamento X:

✓ definir saída da rede através da fase forward.

✓ comparar as saídas produzidas com as saídas desejadas.

✓ atualizar os pesos dos neurônios através da fase *backward*.

Vale ressaltar que, para auxiliar a atualização dos pesos, são utilizados dois parâmetros importantes (Furtado, 1998):

a) o momento (α), que aumenta a velocidade de aprendizado evitando pontos de instabilidade onde ocorrem oscilações dos pesos;

b) a taxa de aprendizagem (η), que caracteriza o processo de encaminhamento na superfície de convergência, ilustrada na figura 3.5, exibida a seguir:

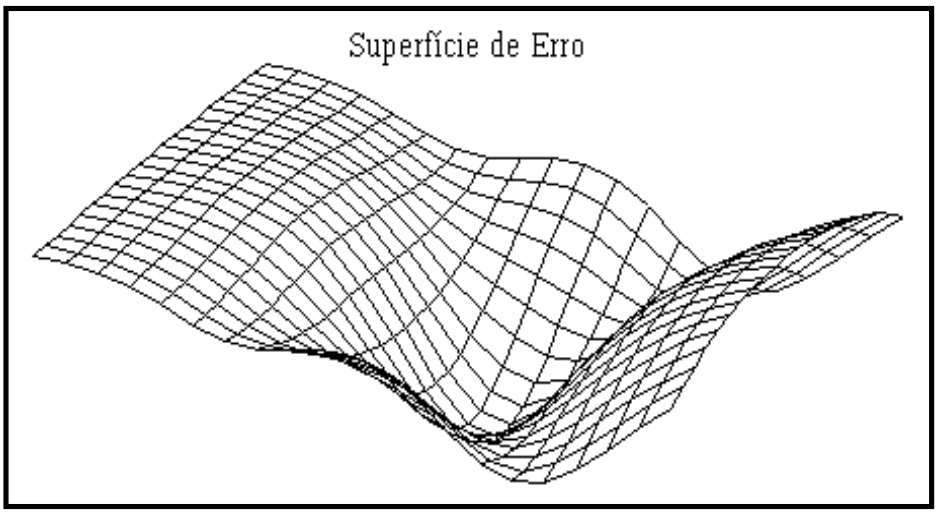

Figura 3.5: Exemplo de superfície de erro

A atualização dos pesos pode ocorrer de duas maneiras: após a apresentação de cada padrão (por padrão) ou após a apresentação de todos os padrões de treinamento (por ciclo).

3.6.4.4 Dificuldades no Treinamento com o *Backpropagation*

O treinamento utilizando o algoritmo *backpropagation* apresenta algumas dificuldades que serão comentadas a seguir:

A primeira é a lentidão da aprendizagem em superfícies complexas, devido à presença de mínimos locais para onde o algoritmo tende a convergir ao invés de procurar um mínimo global que seria a saída correta.

A segunda é a piora da capacidade de generalização da rede, devido à memorização dos padrões de treinamento já apresentados isto é, as peculiaridades e ruídos da rede. Este fenômeno é denominado *overfitting.* Isto ocorre quando, após um certo ciclo de treinamento, a rede em vez de melhorar, piora a sua taxa de acertos para padrões diferentes daqueles utilizados para o ajuste dos pesos.

Para evitar os problemas descritos acima, Braga *et* al., (2000) recomenda cuidado na alocação do número de neurônios da camada intermediária, de modo que sejam suficientes para a solução do problema de reconhecimento de padrões.

3.6.5 Considerações Sobre os Experimentos que Utilizam Redes Neurais Artificiais

Os experimentos com as RNA são conduzidos com base em padrões definidos para os procedimentos de teste e documentação dos resultados, com o objetivo de assegurar a validade dos resultados.

Atualmente, nos experimentos de RNA, utilizam-se os procedimentos de partição dos subconjuntos de treinamento validação e teste; adotados no padrão estabelecido por Pretchelt (Furtado, 1998).

A seguir tecem-se algumas considerações sobre três aspectos importantes:

a) o primeiro deles consiste na partição dos dados segundo a qual o conjunto de dados deve ser dividido nos seguintes subconjuntos:

- o subconjunto de treinamento, composto pelos dados de validação e de treinamento - este último o responsável pela aprendizagem da rede a partir dos exemplos apresentados;

- o subconjunto dos dados de validação, cujo objetivo é verificar os níveis de aprendizagem durante o processo de treinamento, servindo também para avaliar a qualidade da rede durante o processo de validação cruzada (Furtado, 1998);

- o subconjunto dos dados de teste é utilizado para medir os níveis de acerto das RNA, utilizando-se para isto, exemplos que não foram vistos anteriormente pela rede.

Para a execução do procedimento concernente aos experimentos com as RNA, esses subconjuntos são divididos da seguinte forma: representando os subconjuntos de treinamento, validação e teste respectivamente: 50%, 25% e 25% dos casos considerados.

Vale ressaltar que não existe um número mínimo de casos estabelecido para se aplicar a técnica das Redes Neurais Artificiais. No entanto, é necessário que o conjunto dos dados de treinamento possua os dois extremos do intervalo de padrões que se pretende estabelecer.

b) o segundo aspecto diz respeito à otimização da topologia da rede usando a técnica de *prunning* que consiste em eliminar pesos e neurônios irrelevantes ou nulos, durante o processo de aprendizagem.

c) O terceiro e último aspecto está relacionado com a margem de erro a ser considerada na aprendizagem e que é definida em função da precisão que se deseja obter no reconhecimento dos padrões observados, isto é, a função de custo a ser minimizada. No entanto, segundo Furtado (1998), não se deve buscar um erro zero pois, para este caso, a rede poderia perder a capacidade para generalizar. A medida de erro mais comum é definida pela soma dos erros quadráticos e representada pela equação 3.6:

$$E = \frac{1}{2}\sum_{p}\sum_{i=1}^{k}(d_i^p - y_i^p)^2 \tag{3.6}$$

em que:

E: medida de erro total;

p: número de padrões;

k: número de unidades de saída;

d_i: i-ésima saída desejada; e

y_i: i-ésima saída gerada pela rede.

Esta equação define o erro total cometido pela rede, ou a quantidade em que, para todos os padrões *p* de um dado conjunto, as saídas geradas pela rede diferem das saídas desejadas (Braga *et al.*, 2000).

3.7 RNA NA ÁREA DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES

Conforme disponível na literatura, foram identificadas aplicações da técnica das Redes Neurais Artificiais à área de infra-estrutura de transportes, as quais obtiveram resultados satisfatórios. Dentre essas aplicações, destacam-se ações relacionadas aos processos construtivos em vias, nelas incluídas a preparação de superfícies, as pesquisas sobre novos materiais e sistemas de gerência de pavimentos, das quais algumas se encontram descritas a seguir:

Dougherthy, (1995) expõe em seu trabalho um estudo da arte relativo às aplicações das Redes Neurais Artificiais na área de transportes. Neste estudo, o autor salienta a importância das redes *Multilayer Perceptron* e conclui serem elas, juntamente com o algoritmo *backpropagation,* os mais utilizados nas pesquisas em transportes, com a obtenção de bons resultados.

Brega (1996) demonstrou que RNA são capazes de avaliar as condições de pavimentos e indicar quais intervenções devem ser empreendidas. O autor obteve, como resultado, a classificação da condição pavimento em cinco categorias: péssimo, ruim, regular, bom, ótimo; além de mostrar o tipo de restauração a ser empreendida.

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

Rodgher *et al*. (1997) realizaram um estudo para prever a classe MCT (Miniatura Compactado Tropical) dos solos em regiões tropicais, por meio das RNAs. Concluíram que a partir de algumas propriedades dos materiais, as Redes Neurais Artificiais são capazes de prever a sua classificação MCT.

Rodgher & Oda (1997) realizaram um trabalho que trata da previsão de defeitos em estradas por meio da utilização das RNA com base em características geotécnicas, climáticas, geométricas e de tráfego. Esse artigo, inclusive, despertou a investigação referente à presente dissertação de mestrado. As autoras obtiveram como resultado, um desempenho de 88% e concluíram que as Redes Neurais Artificiais têm potencial de aplicabilidade na previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas.

Rodgher *et al*. (1998) apresentaram um trabalho que utilizou as Redes Neurais Artificiais para prever a seleção das atividades de manutenção e reabilitação de estradas não-pavimentadas. Este trabalho foi uma complementação do anterior, ao adicionar o critério "atividades de manutenção". As autoras concluíram pelo reconhecimento promissor das Redes Neurais para fins da classificação de padrões.

Coutinho Neto (2000) demonstrou ser possível se fazer retroanálise de pavimentos flexíveis utilizando a técnica das Redes Neurais Artificiais. O autor comparou os valores dos módulos resilientes previstos com valores considerados reais (obtidos com o programa de análise mecanística ELSYM5), obtendo um bom desempenho e concluiu serem as Redes Neurais Artificiais ferramentas promissoras para se utilizar nos procedimentos de retroanálise de pavimentos flexíveis de duas, três e quatro camadas.

O bom desempenho das Redes Neurais Artificiais reconhecido no seriado de trabalhos na área de transportes consultados bem como o propósito de um método de previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas aliado ao perfil e à natureza dos

dados subjacentes ao método conduziram à utilização da técnica das redes neurais neste estudo.

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das inferências feitas neste capítulo e, particularmente, das aplicações desenvolvidas na área de transportes, observa-se que as Redes Neurais Artificiais se concretizam em uma importante ferramenta para auxiliar o processo decisório.

Uma grande vantagem da aplicação dessa técnica é a sua adaptabilidade, a dizer, a possibilidade de ser incorporada às tecnologias existentes na área de infra-estrutura de transportes.

Este capítulo encerra a revisão bibliográfica referente aos pontos temáticos nucleares desta dissertação: “Estradas Vicinais de Terra” e “Redes Neurais Artificiais”. A seguir, será apresentado o capítulo referente ao MÉTODO desenvolvido, utilizando a técnica das Redes Neurais Artificiais para a previsão dos defeitos em estradas de terra, a partir da relação existente entre esses e os atributos selecionados: tipo de solo, clima, topografia, tráfego e ausência ou presença de sistemas de drenagem.

CAPÍTULO 4

O MÉTODO

Neste capítulo apresenta-se o MÉTODO desenvolvido para a previsão dos defeitos em estradas vicinais de terra. O presente MÉTODO utiliza-se da técnica das Redes Neurais Artificiais e está baseado nas intrínsecas relações entre os defeitos presentes nas vias não-pavimentadas e os já referidos atributos pré-selecionados: topografia, clima, tráfego, tipo de solo e sistemas de drenagem.

O capítulo encontra-se subdividido em três etapas: a inicial trata do Primeiro Procedimento Experimental que diz respeito à coleta dos dados em campo e aos ensaios de laboratório (Análise Granulométrica e Limites de Atteberg); a etapa intermediária aborda o Segundo Procedimento Experimental que diz respeito ao tratamento dos dados coletados e à posterior aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais e, por fim, a última etapa consiste do desenvolvimento da Interface de Aplicação resultante dos procedimentos anteriores.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é apresentado o MÉTODO que se propõe a utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos defeitos em estradas vicinais não-pavimentadas do município de Aquiraz/CE, com fim de identificar os trechos críticos com a prioridade de intervenção para proporcionar uma melhor alocação dos recursos financeiros disponíveis.

A grande dificuldade de obtenção dos dados necessários à estruturação do modelo atinentes à caracterização da malha rodoviária não pavimentada do Estado do Ceará conduziu a escolha das estradas da Região Metropolitana de Fortaleza, em favor, inclusive, da boa variabilidade de solos e da proximidade geográfica.

Inicialmente foram percorridos cem quilômetros da malha rodoviária não-pavimentada do município de Aquiraz/CE, a fim de se identificar um trecho representativo para se desenvolver o estudo de caso. A seguir, foram selecionadas três estradas, perfazendo um total de dez quilômetros dentre os cem percorridos

inicialmente, a cada uma das quais foi atribuída uma denominação, a saber: AQZ 01, AQZ 02 e AQZ 03.

Para a concepção deste modelo de RNA, durante o Primeiro Procedimento Experimental, foram identificados, quantificados e priorizados atributos tidos como relevantes no processo de surgimento e agravamento dos defeitos em estradas de terra tais como: rampa, seção transversal, drenagem, tipo de solo, clima e tráfego. Além disso, as estradas selecionadas foram avaliadas, quanto ao tipo e graus de severidade dos defeitos descritos no capítulo dois.

Após a coleta dos dados necessários à alimentação do modelo de Rede Neural Artificial proposto, foi realizada, como parte integrante do Segundo Procedimento Experimental, a aplicação propriamente dita da técnica, isto é, a execução das etapas de treinamento, validação e teste, a fim de se constatar a viabilidade da mesma.

Por fim, com o intuito de tornar mais efetivo o uso das RNA, desenvolveu-se uma interface no *software* Microsoft Excel 2000 com base no modelo de Rede Neural Artificial que obteve melhor desempenho para o problema proposto: a previsão dos defeitos em estradas vicinais de terra.

Este capítulo encontra-se dividido em três partes que são: o Primeiro Procedimento Experimental, o Segundo Procedimento Experimental e o desenvolvimento da Interface de Aplicação, descritos a seguir.

4.2 PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este primeiro segmento do MÉTODO proposto consistiu, basicamente, no levantamento dos dados necessários à alimentação do modelo a ser estruturado para a previsão dos defeitos em estradas de terra da região. O processo englobou as seguintes etapas:

a) o levantamento topográfico de 10 Km de estradas, que corresponde a 10% do total de 100 Km percorridos no município de Aquiraz, que detém na sua totalidade 164 Km de estradas não-pavimentadas (IPLANCE, 2001). Este levantamento, ilustrado na figura 4.1 mostrada a seguir, foi realizado com a utilização dos seguintes equipamentos: uma Estação

Total, TOPCON, modelo GTS 229, pertencente ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC e uma máquina fotográfica digital Sony, pertencente ao Núcleo de Pesquisa e Ensino em Logística, Transportes e Desenvolvimento - NUPELTD, UFC;

Figura 4.1: Levantamento topográfico

b) a avaliação dos 10 Km levantados topograficamente, com a escolha de três estradas nas quais foram identificados e quantificados os tipos de defeitos existentes baseado no método de avaliação de estradas não-pavimentadas desenvolvido por Eaton *et al*. (1987 a,b) e nas observações feitas por Fontenele (2001);

c) os ensaios laboratoriais de análise granulométrica e limites de Atteberg, executados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Ceará, com utilização das amostras de solo coletadas em cada uma das 300 unidades amostrais, de comprimentos de 20 e 30 metros, escolhidas do trecho em estudo;

d) contagem manual do tráfego existente no local, munindo-se de uma folha padrão de anotação de volumes e classificação dos veículos.

O levantamento topográfico permitiu, com o uso do *software* AUTOCAD 2002, a obtenção do perfil longitudinal e as seções transversais do terreno, por meio dos quais

obtiveram-se respectivamente os valores de rampa e as seções transversais, traçadas de metro em metro, para cada uma das unidades amostrais selecionadas.

De posse do perfil longitudinal, dividiu-se as três estradas em 300 unidades amostrais, a fim de se identificar os defeitos existentes na superfície de rolamento dessas vias durante os períodos: seco (de junho a janeiro) e chuvoso (de fevereiro a maio), de acordo com a planilha exibida a seguir que fornece também os dados de drenagem.

As figuras 4.2 e 4.3 ilustram a folha de inspeção dos defeitos utilizada nesta pesquisa que foi adaptada de Fontenele (2001).

Folha de Inspeção de Defeitos nas Unidades Amostrais	
PARTE I – Características Gerais	
01. Município:	08. Comprimento da U. A:
02. Data:	09. Área da U.A:
03. Localização:	10. Velocidade:
04. Trecho:	11. Tráfego:
05. Extensão do trecho:	12. Clima: seco ( ) chuva: ( )
06. Unidade amostral (U.A.):	13. Rampa (%):
07. Largura da U.A:	14. Drenagem: sim ( ) não ( )
01. Secção Transversal Inadequada: Calha ( ) mista e encaixada: ( ) abaulada e encaixada: ( )	
Dimensões do defeito	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
02. Ondulações / Corrugações:	
Dimensões do defeito	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
03. Poeira:	
Altura da nuvem de poeira	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )

Figura 4.2: Folha individual para inspeção de defeitos utilizada – frente

04. Buracos / Panelas:	
Quantidade de buracos / panelas	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
05. Afundamento das Trilhas de ROda:	
Dimensões do defeito	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
06. Segregação de Agregados:	
Dimensões do defeito	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
07. Areiões:	
Dimensões do defeito (m)	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
08. Erosão:	
Dimensões do defeito (m^2)	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )
09. Atoleiro:	
Dimensões do defeito (m)	Severidade do defeito
	Baixa: ( ) Média: ( ) Alta: ( )

Figura 4.3: Folha individual para inspeção de defeitos utilizada – verso

Os defeitos presentes nas vias do trecho em estudo foram identificados e quantificados, com a utilização da planilha exibida nas figuras 4.2 e 4.3 para cada unidade amostral selecionada, de um total de dez quilômetros levantados topograficamente.

Os defeitos identificados nas unidades amostrais avaliadas, de acordo com Eaton *et al*. (1987 a,b) e com observações feitas por Fontenele (2001), são os seguintes: seção transversal inadequada, atoleiro, afundamento de trilhas de roda, buracos, areião, erosão, ondulações, segregação de agregados e poeira.

Após a identificação e quantificação dos defeitos, foram coletados, de cada unidade amostral escolhida, 2 kg de material adotando a seguinte metodologia: inicialmente, cavou-se um buraco de trinta centímetros de profundidade com o auxílio de um trado para, em seguida coletar-se em um saco plástico, o solo abaixo desse nível. Feito isto, o material coletado foi levado para análise em laboratório, para a aplicação dos ensaios de granulometria, limites de liquidez e de plasticidade, com o objetivo de posterior classificação geotécnica dos solos utilizando-se do sistema de classificação HRB (Highway Research Board) que teve origem no Bureau of Public Roads (BPR) de 1929 e é largamente aceito entre os organismos rodoviários em diversos países no mundo.

A última etapa executada no Primeiro Procedimento Experimental consistiu na contagem manual do tráfego local. O período de pesquisa se deu das sete às dezoito horas, em dois momentos distintos: novembro de 2002 e janeiro de 2003. A localização do posto de coleta das informações ficou situada no ponto de encontro das três estradas, o que possibilitou assim, uma melhor visibilidade do fenômeno. O modelo de folha de coleta utilizada para anotação de volume e classificação dos veículos, de acordo com a literatura especializada, está exposto na figura 4.4, em seguida:

FORMULÁRIO PARA CONTAGEM DE TRÁFEGO						
LOCALIDADE:		**DATA:**		**ESTRADA:**		
HORA	CARROS	TOPICS	PICAPES	CAMINHÕES	ÔNIBUS	OUTROS
07:00h às 12:00h						
12:30 às 18:00						

Figura 4.4: Folha individual para contagem de tráfego

Vale ressaltar que durante a contagem manual de trêfego não se verificou a presença de caminhões que detivessem mais que dois eixos.

Por fim, o Primeiro Procedimento Experimental possibilitou a determinação dos atributos anteriormente citados, relacionados direta ou indiretamente com o

aparecimento e graus de severidade dos defeitos existentes nas estradas vicinais de terra. São eles:

a) rampa: são os valores de inclinação do terreno, obtidos diretamente do perfil longitudinal resultante do levantamento topográfico. Para esta pesquisa, esses valores foram agrupados em três intervalos: menores que três, entre três e oito, e maiores que oito, representados, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental, pelos números 1, 2 e 3, respectivamente;

b) tipos de secção transversal: é o tipo de seção transversal predominante na unidade amostral. São obtidos do levantamento topográfico e podem ser classificados: em calha, mista e encaixada ou abaulada e encaixada, representadas, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental, pelos números 1, 2 e 3, respectivamente;

Vale lembrar que durante a avaliação feita nas unidades amostrais levantadas em campo com relação ao defeito STI, consideraram-se os critérios definidos por Eaton *et* al. (1987a), na estação chuvosa, e as observações de Fontenele (2001), na estação seca. Esta escolha favoreceu uma melhor visualização do defeito avaliado já que os critérios citados são análogos.

c) sistemas de drenagem: durante a avaliação das unidades amostrais em estudo, foi constatada uma precariedade dos sistemas de drenagem presentes. Para o objeto deste trabalho, este item foi classificado em dois níveis: ausente ou presente; representados, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental, pelos números 1 e 2, respectivamente;

d) tipos de solo: a coleta de material feita em cada unidade amostral escolhida para ser avaliada, e os conseqüentes ensaios laboratoriais executados, análise granulométrica e limites de Atteberg, possibilitaram a classificação dos solos encontrados pelo sistema HRB em duas grandes classes: solos granulares, os quais possuem comportamento geral como

subleito de excelente a bom, representado pelo número 1; e solos argilosos e siltosos, com comportamento de regular a mau, representado pelo número 2, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental;

e) clima: classificado em duas classes: chuva ou sol, representados, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental, pelos números 1 e 2, respectivamente;

f) tráfego: como este estudo trata de vias de baixo volume de tráfego, o número de veículos em cada estrada avaliada permanece pouco alterado, portanto, optou-se por classificar o tráfego em três categorias: leve, misto e pesado, representadas, para posterior utilização no Segundo Procedimento Experimental pelos números 1, 2 e 3 respectivamente, conforme as percentagens de veículos leves e pesados que operam nas estradas em estudo. Este procedimento foi adotado devido ao fato de que o volume médio diário (VDM) do tráfego nestas estradas, ser bastante semelhantes , quanto ao número, mas não quanto ao tipo de veículos, fato que foi constatado durante a contagem manual realizada *in situ*.

Os atributos descritos acima foram posteriormente utilizados no Segundo Procedimento Experimental como variáveis de entrada do modelo proposto e estão intimamente relacionados com os defeitos identificados nas unidades amostrais avaliadas, estes, utilizados como variáveis de saída.

4.3 SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a obtenção dos dados, por meio da execução das etapas do Primeiro Procedimento Experimental, descritas anteriormente, este segundo segmento do MÉTODO proposto consistiu de cinco fases descritas a seguir:

4.3.1 Ordenação das Variáveis de Entrada e Saída

Com o objetivo de se utilizar os dados coletados como variáveis de um modelo de Rede Neural Artificial, uma primeira providência fez-se necessária: 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 as seguintes:

a) variáveis de entrada: foram definidas partindo da premissa defendida por Santos *et al.* (1988), de que os problemas (ou defeitos) mais comuns em estradas de terra 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: tráfego, drenagem, clima, tipo de seção transversal, tipo de solo e valores de rampa;

b) variáveis de saída: determinadas com base em Eaton *et al.* (1987a), ODA (1995) e Fontenele (2001), foram colocadas por ordem crescente de prejuízo na via e são as seguintes: poeira (PO), segregação de agregados (SAGR), ondulações (OND), erosão (ERO), areião (AR), buracos (BU), afundamento de trilhas de roda (ATR), seção transversal inadequada (STI) e atoleiro (ATOL).

4.3.3 Definição de Topologias e Parâmetros para as Redes Neurais Artificiais

Um importante passo para a proposição de uma RNA é estabelecer a arquitetura da Rede Neural Artificial que será testada e definir o simulador a ser utilizado. Para este trabalho optou-se pelas redes *Multilayer Percerptron (MLP)*, devido a sua freqüente utilização nos problemas de classificação de padrões na área de transportes, o que ficou evidenciado na seção 3.7 que trata das aplicações da técnica das RNA na área de infra-estrutura de transportes.

Nesta fase do Segundo Procedimento Experimental foram propostas várias classes topológicas de RNA, com variações, num primeiro momento, na definição das variáveis e, posteriomente, na disposição das estruturas das camadas de entrada, intermediária e saída.

4.3.3 Considerações Sobre o Simulador Utilizado: EASY NN PLUS

Para a simulação foi usado o programa Easy NN Plus (Wostenholme, 2001), por: apresentar uma boa interface gráfica; suportar boa quantidade de variáveis de entrada e saída e ter baixo custo.

As RNA utilizadas neste *software* são do tipo *Multilayer Perceptron*, treinadas com o algoritmo *backpropagation* e requerem a curva sigmóide como função de ativação.

Alguns dos resultados gerados por este simulador encontram-se citados a seguir:

a) um arquivo, tipo texto, contendo todos os resultados do conjunto de validação e teste, inclusive as variáveis de entrada e saída previstas pela rede;

b) os pesos das conexões entre os neurônios; e

c) um gráfico no qual estão expostos os graus de importância de cada variável de entrada.

4.3.4 Verificação do Nível de Confiabilidade da Rede e Definição dos Parâmetros de Corte

O nível de confiabilidade das Redes Neurais Artificiais é verificado utilizando-se o percentual de acerto e o erro médio observados.

Os parâmetros de corte podem mostrar em que níveis as redes testadas podem ser consideradas satisfatórias nas atividades de reconhecimento de padrões (Furtado, 1998).

A partir do percentual de acerto, que será determinado conforme a precisão que se quer atingir no reconhecimento de padrões, será feita a verificação do erro médio observado durante a aprendizagem. As redes que apresentarem os menores erros serão consideradas viáveis. O erro médio é calculado, segundo Furtado (1998), a partir da média aritmética dos erros que efetivamente correspondem ao percentual de acerto.

4.3.5 Treinamento, Validação e Teste

Esta etapa é composta dos procedimentos a serem executados para a aprendizagem da RNA, por meio da simulação que envolve o treinamento, a validação e o teste.

4.3.5.1 Formação das Partições de Treinamento, Validação e Teste

Uma vez definidos os conjuntos de dados, os mesmos devem ser divididos, de forma aleatória, em três diferentes partições destinadas a cada uma das três fases do modelo de RNA e que são as seguintes:

a) *treinamento*: 50% dos casos considerados;

b) *validação*: 25% dos casos considerados;

c) *teste*: 25% dos casos considerados.

Dentro de cada uma das três partições (P), deve-se fazer seis sub-partições (SBP) possíveis caracterizadas da seguinte forma:

a) P 01 – SBP 01 – treinamento (50%), validação (25%) e teste (25%);

b) P 01 – SBP 02 – treinamento (50%), teste (25%), validação (25%);

c) P 01 – SBP 03 – validação (25%), treinamento (50%), e teste (25%);

d) P 01 – SBP 04 – validação (25%), teste (25%) e treinamento (50%);

e) P 01 – SBP 05 – teste (25%), validação (25%) e treinamento (50%);

f) P 01 – SBP 06 – teste (25%), treinamento (50%) e validação (25%).

Obtiveram-se então, para esta dissertação, 18 (dezoito) redes para cada um dos dois tipos básicos de topologia propostas: 6 – X – 9 e 6 – X – 27. A título de esclarecimento, a letra “X” significa que a camada intermediária foi testada com número variado de neurônios.

4.3.5.2 Parâmetros de Controle da Aprendizagem

Os parâmetros variáveis de aprendizagem são:

a) o número de neurônios ocultos (m): não há uma regra específica para determiná-lo;

b) a taxa de aprendizagem (η): indica o quão suave se dá a atualização dos pesos;

c) o *mometum* (α): acelera o treinamento em regiões planas da superfície de erro.

De acordo com a determinação dos pesos iniciais e o encaminhamento na superfície de erros, esses parâmetros vão sendo modificados de modo a "rastrear" a superfície, onde o *momentum* representa a direção e a taxa de aprendizagem representa o tamanho do passo, na procura do ponto mínimo global.

A tabela 4.1 lista os parâmetros variáveis de uma MLP.

Tabela 4.1: Lista dos parâmetros variáveis num modelo MLP

Parâmetro	Símbolo	Intervalo Típico
Nº de neurônios ocultos	M	(2,∞)
Taxa de Aprendizagem	H	(0,1)
Momentum	A	(0,1)

Fonte: HAYKIN (2001)

4.3.5.3 Critérios para a Escolha do Melhor Modelo de RNA Treinado

Dois critérios foram usados para definir qual o modelo de RNA mais adequado para o objetivo deste trabalho:o erro quadrático médio amostral (EQM) e o coeficiente de determinação (r^2) no conjunto de dados de validação.

Para este trabalho, o parâmetro usado como indicador da performance do modelo de RNA foi o erro quadrático médio amostral (equação 4.1) pois, quanto menor este erro no conjunto de validação, melhor a arquitetura de RNA a ele associada.

$$EQM = \sum_{i=1}^{n} (d_i - y_i)^2 \tag{4.1}$$

em que:

d_i: saída esperada no neurônio i;

y_i: saída gerada pela RNA treinada no neurônio i; e

n: número de eventos.

Para se analisar até que ponto os valores estimados pelo modelo de RNA escolhido estão relacionados com os valores reais, fez-se uso do coeficiente de determinação (r^2), medida estatística associada à dispersão dos pontos ao redor da reta de regressão, calculada cumprindo-se as seguintes etapas:

Primeiramente calcula-se o erro padrão da estimativa (S_e) para medir a dispersão na população, neste caso, os valores de validação, reais (esperados) e observados (gerados pelo modelo de RNA treinado), em relação à reta de regressão (equação 4.2).

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (d_i - y_i)^2}{(n-2)}} \tag{4.2}$$

em que:

S_e: erro padrão da estimativa;

d_i: saída esperada no neurônio i;

y_i: saída gerada pelo modelo de RNA treinado no neurônio i; e

n: número de eventos.

Em seguida, calcula-se a variância dos valores observados (S_y) para se observar a sua tendência em relação à reta de regressão (equação 4.3).

$$S_y^2 = \frac{n\left(\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2}{n}}{(n-2)} \tag{4.3}$$

em que:

$(S_y)^2$: variância dos valores observados;

y_i: saída gerada pelo modelo de RNA treinado no neurônio i; e

n: número de eventos.

Por fim, o valor do coeficiente de determinação (r^2) é calculado (equação 4.4):

$$r^2 = \frac{S_y^2 - S_e^2}{S_y^2} = 1 - \frac{(s_e)^2}{(s_y)^2} \tag{4.3}$$

em que:

$(S_e)^2$: erro padrão da estimativa; e

$(S_y)^2$: variância dos valores observados.

4.4 DEFINIÇÃO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO

Devido ao fato da técnica utilizada neste trabalho possuir elementos que dificultariam a sua utilização por uma comunidade de usuários menos habituados com os mesmos, se fez necessário o uso de uma Interface de Aplicação.

Optou-se, para esta pesquisa, por simular o comportamento da RNA melhor estruturada por meio de uma interface desenvolvida no *software* Microsoft Excel 2000, planilha eletrônica de operação bastante difundida.

Para se replicar uma RNA treinada em planilha eletrônica, se faz necessário a consideração dos seguintes dados: função de ativação utilizada pelo simulador,

arquitetura da rede associada e valores dos pesos das conexões entre nós e dos *bias* associados a cada nó.

De posse desses dados, parte-se para a replicação do modelo treinado e validado, obedecendo à sua arquitetura, isto é o número de neurônios presentes em cada camada. Convém destacar que a formulação matemática da função de ativação para as Redes Neurais Artificiais do tipo MLP foi mostrada no capítulo três e os pesos das conexões foram calculados aleatoriamente e fornecidos pelo *software* Easy NN.

Posto isto, a "inteligência" da planilha eletrônica estará inspirada matematicamente no funcionamento uma Rede Neural Artificial treinada, em conformidade com os passos descritos no capítulo três.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MÉTODO desenvolvido nesta dissertação é composto de duas etapas inter-relacionadas, intituladas: Primeiro Procedimento Experimental e Segundo Procedimento Experimental.

Convém destacar que o MÉTODO pode ser aplicado a qualquer localidade onde haja malha viária não-pavimentada, desde que sejam respeitadas as especificidades de cada região de aplicação.

O desenvolvimento de uma Interface de Aplicação se deve à intenção de tornar mais efetivo o uso da técnica das Redes Neurais Artificiais e de alcançar uma parcela maior de usuários não especializados com vistas a auxiliar a tomada de decisão em relação às intervenções a serem executadas em estradas vicinais de terra.

As inferências sobre o detalhamento do MÉTODO desenvolvido nesta dissertação, feitas neste capítulo, além de fornecer ao leitor uma noção exata dos procedimentos executados em todas as etapas, possibilita um melhor acompanhamento da aplicação do mesmo ao estudo de caso realizado no município de Aquiraz/CE, assunto a ser tratado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

Este capítulo trata da aplicação do MÉTODO desenvolvido ao estudo de caso que tem como objeto parte da malha viária não-pavimentada do município de Aquiraz/CE.

Para a aplicação do MÉTODO, foram percorridos cem quilômetros da malha rodoviária não-pavimentada do município de Aquiraz, de onde se selecionou dez quilômetros representativos. O trecho escolhido é composto por três estradas denominadas: AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03, as quais foram subdivididas em trezentas unidades amostrais, com comprimentos de vinte e trinta metros, conforme descrito anteriormente no capítulo quatro.

Depois de subdividir o trecho escolhido em unidades amostrais, executou-se, de acordo com o descrito no capítulo quatro, as três etapas subseqüentes do MÉTODO.

A disposição dos três tópicos abordados no presente capítulo é a seguinte: inicialmente é feita a caracterização do município de Aquiraz, área eleita para o estudo de caso, incluindo aspectos da manutenção das estradas de terra no Estado do Ceará. Posteriormente seguem, em dois itens distintos, a descrição e análise dos resultados relativos à aplicação do MÉTODO, sucessivamente obtidos da execução do Primeiro Procedimento Experimental, do Segundo Procedimento Experimental e do desenvolvimento da Interface de Aplicação.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O MÉTODO desenvolvido nesta dissertação se propõe utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais para estruturar e avaliar um modelo de previsão dos defeitos em estradas vicinais não-pavimentadas do município de Aquiraz/CE, com fim de identificar os trechos críticos com a prioridade de intervenção para proporcionar uma melhor alocação dos recursos financeiros disponíveis.

Vale lembrar que a grande dificuldade de obtenção dos dados necessários à estruturação do modelo atinentes à caracterização da malha rodoviária não-pavimentada

do Estado do Ceará conduziu a escolha das estradas da Região Metropolitana de Fortaleza, como área de aplicação, em favor da boa variabilidade de solos e da proximidade geográfica.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE AQUIRAZ

A área escolhida para este estudo compreende algumas estradas vicinais de terra do município de Aquiraz-CE, situado na figura 5.1. Este município situa-se na porção nordeste do Estado do Ceará, a uma distância de 24,7 Km da Capital do Estado, está geograficamente situado entre as coordenadas -3° 54' 05" de latitude sul e -38° 23' 28" de longitude oeste.

Figura 5.1: Mapa da Região Metropolitana de Fortaleza
Fonte: adaptado de IPLANCE (2003)

Considerando a pluralidade de leitores e destinatários da presente dissertação de mestrado, optou-se por um maior detalhamento sobre a caracterização do município de Aquiraz/CE.

A figura 5.2, exibida a seguir, ilustra a divisão político-administrativa do município de Aquiraz, com destaque para os seus distritos e localidades integrantes.

Figura 5.2: Mapa dos distritos de Aquiraz
Fonte: disponível em www.ceará.gov.br

A cidade tem uma altitude média de 14,23 m, com temperaturas médias variando entre 28°C e 36°C. O regime pluviométrico caracteriza-se pelas irregularidades das chuvas no tempo e no espaço. Ocorrem, via de regra, chuvas concentradas entre os meses de fevereiro a maio, mas que podem também se iniciar em dezembro.

De acordo com o censo realizado pelo IBGE em 1996 (IBGE, 2000), a população total do município era de 60.574 habitantes, distribuídos numa área de 471 Km^2 em sete distritos, sem contar a Sede do município.

A economia de Aquiraz possui uma rede variada de atividades como por exemplo a agricultura e a agroindústria, com destaque à produção de caju, coco, cana-de-açúcar e mandioca; conservas e sucos de caju, frutas, e hortaliças, além do beneficiamento da rapadura e fábrica de aguardentes. Merece referência também a criação de bovinos, suínos e eqüinos, assim como o setor avícola.

O setor industrial vem apresentando um razoável crescimento no tocante ao número de empresas. A quase totalidade dessas empresas enquadra-se na categoria indústria de transformação, além do ramo da construção civil e do ramo de extrativo

mineral. A partir de 1996, duas novas indústrias instalaram-se no município, a White Stone do Brasil S/A e a Indústria de Bebidas Antárctica do Ceará S/A. A White Stone tem como linha de produção a extração, beneficiamento e comercialização de granito e outras pedras ornamentais, oriundas de jazidas próprias ou de terceiros. A Indústria de Bebidas Antárctica (hoje AMBEV) instalou-se em dezembro de 1997.

O segmento do comércio tem predominância no setor terciário do município de Aquiraz. São fortes os vínculos mercantis com a cidade de Fortaleza, para onde escoa a produção agrícola e artigos industrializados locais, através da malha municipal por onde são conduzidos até as suas principais vias de acesso (figura 5.3), além de importar da Capital, produtos manufaturados, dentre os quais cabe destacar os produtos de gênero alimentícios, artigos de vestuário, material para construção em geral e veículos, peças e acessórios.

Figura 5.3: Aquiraz - vias de acesso
Fonte: disponível em www.ceará.gov.br

Quanto ao tipo de solo especificamente das estradas englobadas neste trabalho a região é predominantemente caracterizada pela chamada Formação Barreiras, que consiste em sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes de aspecto mosqueado, com granulação variando de fina a média. A figura 5.4, em seguida, mostra a distribuição pedológica dos solos na Região Metropolitana de Fortaleza.

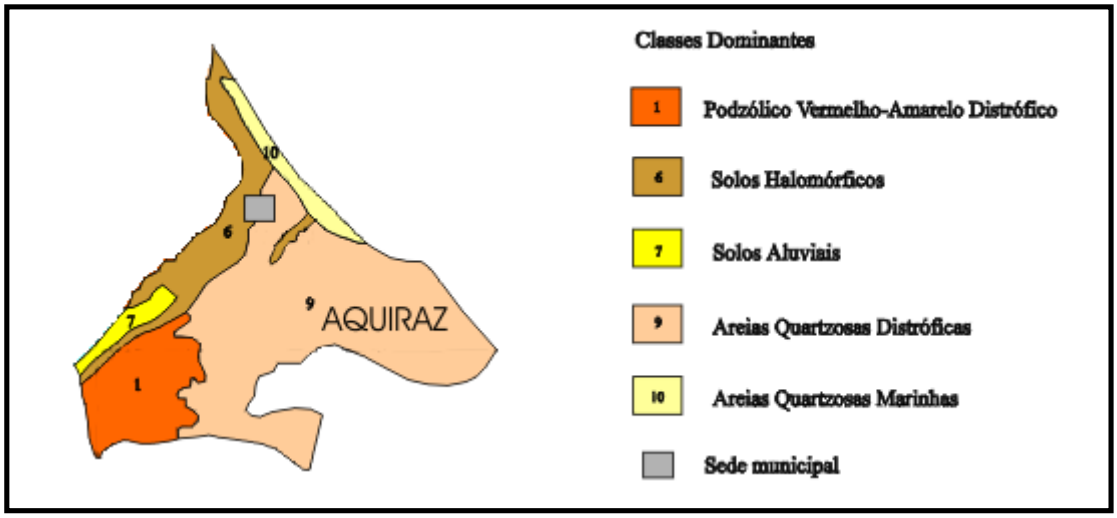

Figura 5.4: Distribuição pedológica dos solos na RMF
Fonte: adaptado de Brandão (1998)

Quanto à formação pedológica, destacam-se as areias quartzósas distróficas que por vezes, estão associadas a areias marinhas e solos podzólicos vermelho-amarelos, ambos distróficos, os quais se desenvolveram a partir dos sedimentos da Formação Barreiras como descritas na tabela 5.1 (Colares, 1996).

Tabela 5.1: Solos predominantes no município de Aquiraz

Tipo de Solo	Descrição
Areia Quatzosas Distróficas	Solos profundos a muito profundos, excessivamente drenados, fortemente ácidos, com baixos teores de argila (menos de 15 %) e coloração variando de vermelha até branca, sendo freqüentes as tonalidades amareladas. Têm baixa fertilidade natural e textura arenosa.
Podzólicos Vermelho-Amarelos Distróficos	Solos profundos ou medianamente profundos, geralmente bem drenados (exceto os de caráter plíntico), ácidos, porosos e de textura variando de médio a argilosa. Exibe coloração variada, indo desde tonalidades vermelho-amareladas até bruno-acinzentadas.

Fonte: COLARES (1988)

5.2.1 Como é Feita a Manutenção das Estradas Não-Pavimentadas

Com o objetivo de evidenciar as deficiências referentes à manutenção das estradas de terra no município de aquiraz, este subitem trata dos dados referentes ao

processo de manutenção de estradas no Estado do Ceará, o que tornará perceptível a grande carência existente na área.Vale ressaltar que as informações presentes neste subitem foram coletadas junto ao Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes-DERT.

O DERT encontra-se subdividido em dez distritos operacionais, compostos em média por dezoito municípios em cada jurisdição. São eles: Maranguape, Aracoiaba, Itapipoca, Limoeiro do Norte, Santa Quitéria, Quixeramobim, Sobral, Crateús, Iguatu e Crato.

O DERT, por meio dos seus dez distritos, gerencia as rodovias estaduais pavimentadas contidas no Ceará, as quais compreendem 3.576 Km de um total de 8.762 Km de estradas estaduais, através do seu Sistema Integrado de Gestão da Manutenção – SIGMA, o qual auxilia na tomada de decisão no que diz respeito aos trechos prioritários à intervenção.

No que concerne às estradas não-pavimentadas, o DERT somente se responsabiliza pela malha estadual, num total de 5.150 Km, nas quais a manutenção consiste nas seguintes intervenções feitas duas vezes por ano:

a) passagem de motoniveladora (patrol) com adição de material;

b) passagem de patrol para nivelamento sem adição de material;

d) a verificação dos bueiros, que consiste em observar se estão entupidos ou se há alguma ferragem exposta.

Apesar de não ser feito nenhum tipo de levantamento de defeitos, os mais comuns como buracos, corrugações e trilhas de rodas, são corrigidos somente com a o trabalho da motoniveladora.

Quanto às estradas municipais, compreendendo 38.553 Km, dos quais 38.180 Km encontram-se não-pavimentados, estas estão na jurisdição das respectivas prefeituras municipais e a sua manutenção, quando é existente, se dá por força de eventual contrato firmado entre a respectiva prefeitura e o DERT.

A intervenção do DERT nas estradas municipais, desprovida de método, é feita em caráter emergencial.

Figura 2.8: Estrada após passagem motoniveladora

5.3 RESULTADOS OBTIDOS

5.3.1 Resultados Obtidos no Primeiro Procedimento Experimental

5.3.1.1 Trecho em Estudo: Considerações Iniciais

O trecho escolhido para ser objeto deste estudo foi um conjunto de três estradas vicinais de terra, que foram denominadas AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03, perfazendo um total de dez quilômetros levantados topograficamente, de um total de 100 (cem) km percorridos na malha rodoviária de Aquiraz, a qual possui aproximadamente 164 quilômetros de estradas vicinais não-pavimentadas.

As estradas em estudo encontram-se descritas a seguir:

a) *AQZ_01*: tem início no trevo que dista três quilômetros da BR-116, corresponde a dois quilômetros de estrada levantados topograficamente, com término na localidade de Russega. Observou-se que o seu perfil longitudinal, ilustrado na figura 5.5, apresenta, de modo geral, valores de rampa suaves (< 3%) com pouca ocorrência de valores médios (entre 3 e 8%);

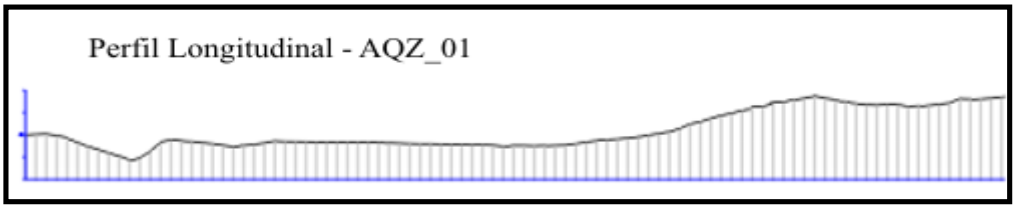

Figura 5.5: Perfil longitudinal da estrada AQZ_01

b) *AQZ_02*: tem início na BR-116, corresponde a três quilômetros de estrada levantados topograficamente. Nesta estrada, observou-se que o perfil longitudinal, ilustrado na figura 5.6, apresenta, os valores de rampas distribuídos entre valores suaves (< 3%) e valores médios (entre 3 e 8%);

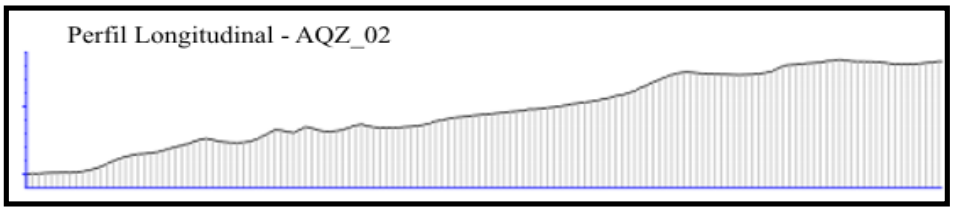

Figura 5.6: Perfil longitudinal da estrada AQZ_02

c) *AQZ_03*: tem início no trevo, que dista três quilômetros da BR-116, possui direção de 45 graus aproximadamente em relação à AQZ_02, corresponde a cinco quilômetros de estrada levantados topograficamente. Para esta estrada, o perfil longitudinal, ilustrado a seguir na figura 5.7, apresenta na sua maior porção, valores de rampa suaves (< 3%). No entanto verificou-se, embora pequena relativamente, a ocorrência de valores que denotam inclinação acentuada (> 8%).

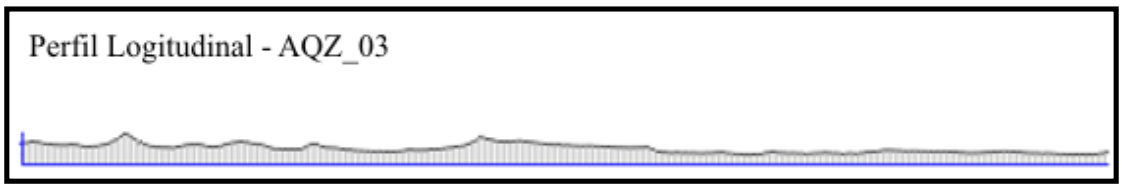

Figura 5.7: Perfil longitudinal da estrada AQZ_03

As referidas estradas interceptam-se em um trevo, situado a três quilômetros da BR-116, a dois quilômetros da localidade de Russega e a cinco quilômetros da localidade de Telha (figura 5.8).

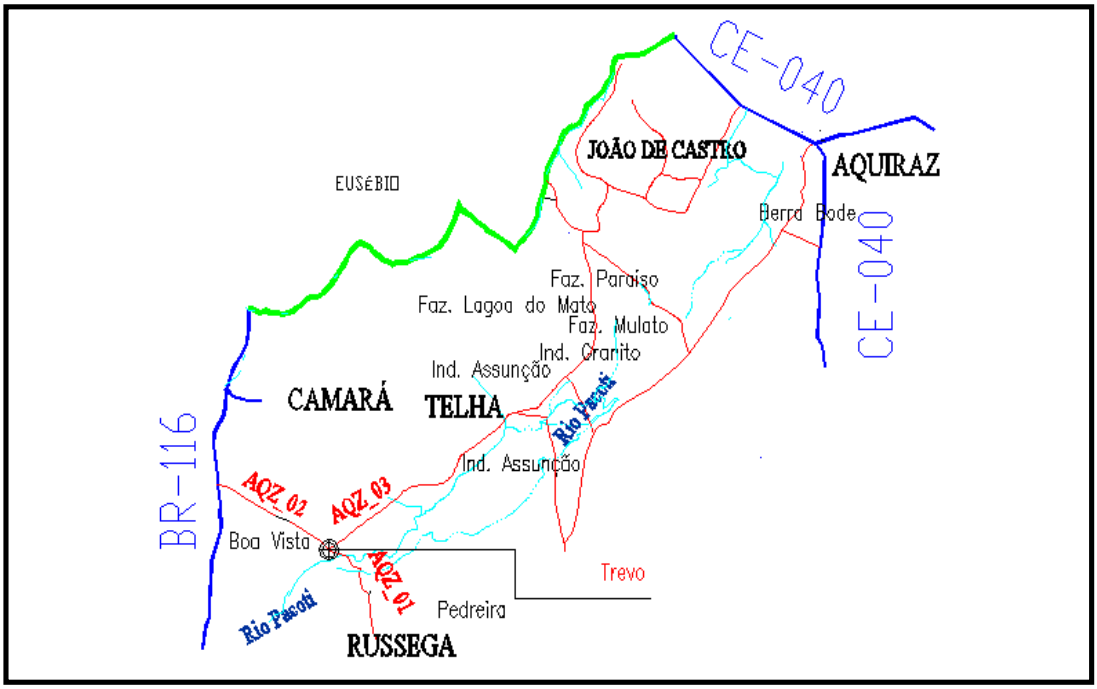

Figura 5.8: Mapa do trecho em estudo

5.3.1.2 Características Técnicas Importantes

Consideram-se características técnicas fundamentais para garantir a uma estrada de terra condições de tráfego satisfatórias: boa capacidade de suporte e boas condições de rolamento e aderência.

Vale ressaltar ainda que a maioria dos defeitos existentes nas vias não-pavimentadas está intimamente relacionada com uma dessas características, as quais podem ser sintetizadas em duas categorias: tipos de materiais existentes e condições da geometria da via.

Para fins deste trabalho, identificaram-se alguns atributos que estão relacionados com a existência de determinados defeitos no leito estradal. Estes atributos foram classificados segundo dois grupos principais:

a) a geometria da via, com a qual estão relacionados os valores de rampa, os tipos de seção transversal e a existência ou não de sistemas de drenagem;

b) o tipo de material existente, com o qual estão relacionados: o tipo de solo, classificados, neste trabalho pelo sistema HRB; o clima e tráfego que são os agentes provocadores atuantes na estrada.

As figuras 5.9, 5.10 e 5.11, exemplificam os três tipos de seção transversal avaliados, encontrados nas estradas estudadas.

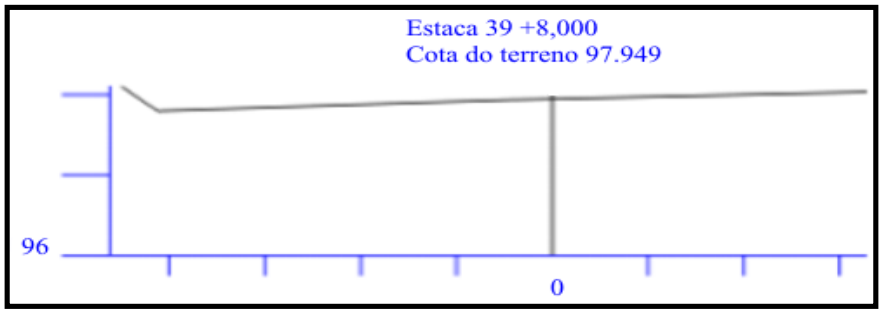

Figura 5.9: Exemplo de seção transversal mista – AQZ_01

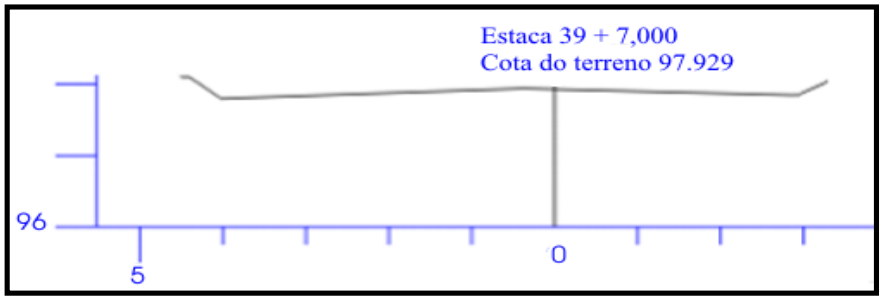

Figura 5.10: Exemplo de seção transversal abaulada e encaixada – AQZ_01

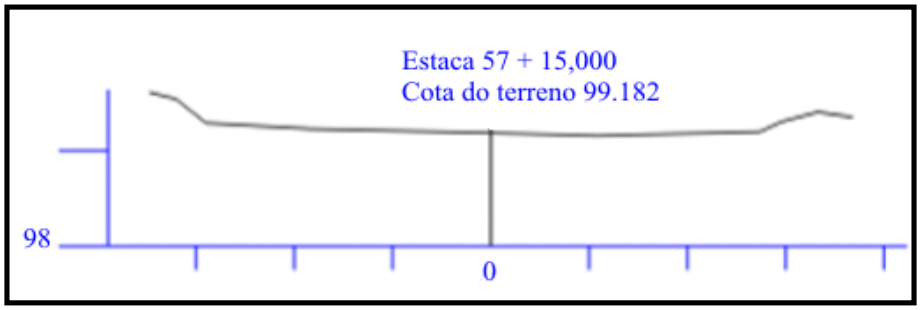

Figura 5.11: Exemplo de seção transversal em calha – AQZ_01

Quanto aos defeitos levantados, estes também podem ser relacionados com os atributos escolhidos. Para o estudo de caso eleito, foram identificados nove tipos de defeitos e suas respectivas severidades em cada uma das 300 (trezentas) unidades amostrais avaliadas e que são listados a seguir: seção transversal inadequada, atoleiro, afundamento de trilhas de roda, buracos, areião, erosão, ondulação, segregação de agregados e poeira.

5.3.1.3 Resultados Obtidos

Os resultados obtidos por meio dos levantamentos feitos no trecho, composto pelas três estradas referidas anteriormente, serão expostos da seguinte forma: primeiramente, serão descritos e analisados os resultados com relação aos defeitos identificados no trecho em estudo, onde serão exibidos, em cada segmento, os percentuais referentes a cada um deles, bem como aos graus de severidades registrados no local. Em seguida, serão expostos e analisados os resultados referentes aos atributos relacionados à formação dos defeitos em estradas de terra anteriormente citados, os quais atuaram como variáveis de entrada para o modelo de previsão proposto.

As estradas avaliadas, denominadas para fins desta dissertação AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03 respectivamente, encontram-se descritas a seguir:

- *estrada AQZ_01*: 2 Km de via que liga a localidade de Russega à Br-116 e ao acesso à CE-040. Os resultados relativos a essa via encontram-se representados nas figuras 5.12, 5.13 (ocorrência dos defeitos sob os climas chuvoso e seco) e 5.18, 5.21 (ocorrência dos níveis de severidade sob os climas chuvoso e seco).

- *estrada AQZ_02:* compreende 3 Km de via que liga a BR-116 ao acesso à CE-040 e à localidade de Russega. Os resultados relativos a essa via encontram-se representados, sob as duas condições climáticas avaliadas, nas figuras 5.13, 5.16 (ocorrência dos defeitos) e 5.19, 5.22 (ocorrência dos níveis de severidade).

- *estrada AQZ_03:* compreende 5 Km de via que liga a localidade de Telha, na direção da CE-040 e na direção oposta à BR-116. Os resultados relativos a essa via encontram-se representados, sob as

duas condições climáticas avaliadas, nas figuras 5.14, 5.17 (ocorrência dos defeitos) e 5.20, 5.23 (ocorrência dos níveis de severidade).

Numa primeira análise, então, serão apresentadas observações sobre a distribuição dos defeitos por estrada, em cada um dos climas avaliados: seco (sol) ou chuvoso (chuva). As figuras 5.12, 5.13 e 5.14 exibem a ocorrência dos defeitos, nas estradas AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03 respectivamente sob o clima chuvoso, representado pelo número 1.

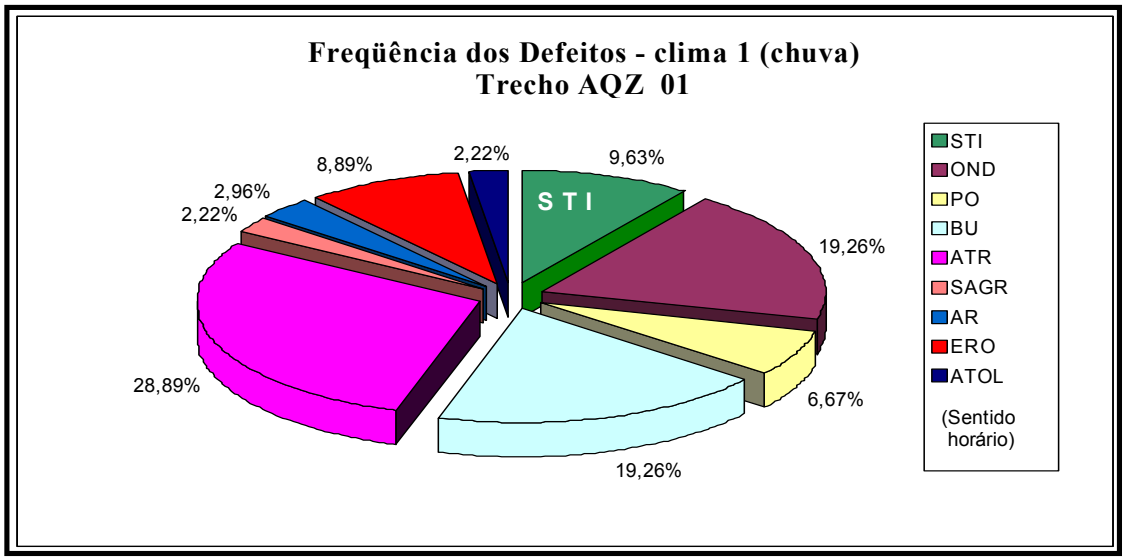

Figura 5.12: Freqüência de defeitos – AQZ_01 – chuva

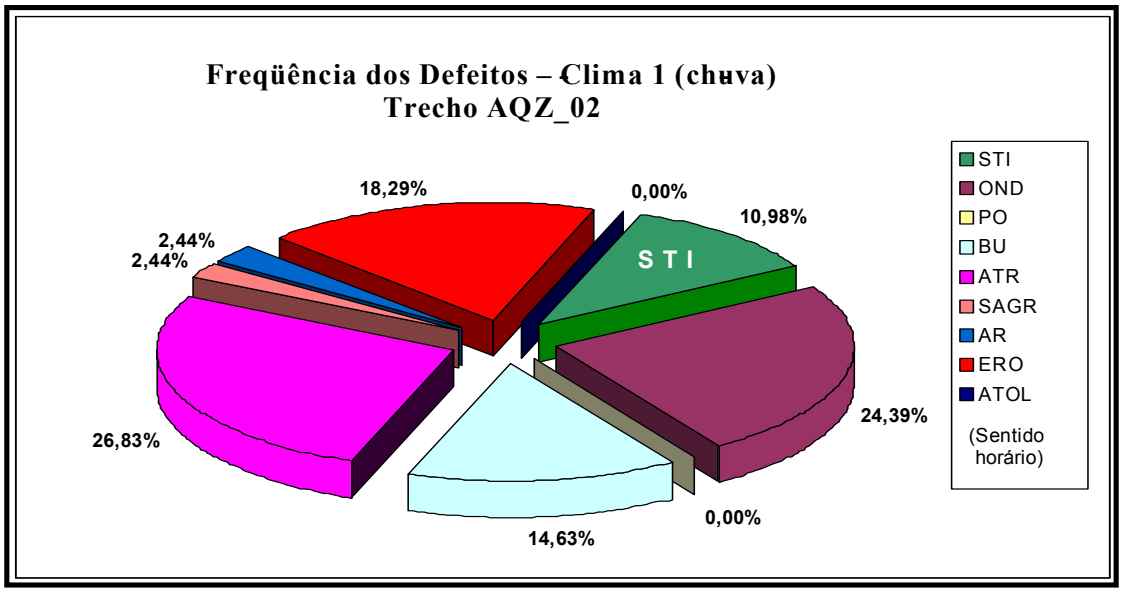

Figura 5.13: Freqüência dos defeitos – AQZ_02 – chuva

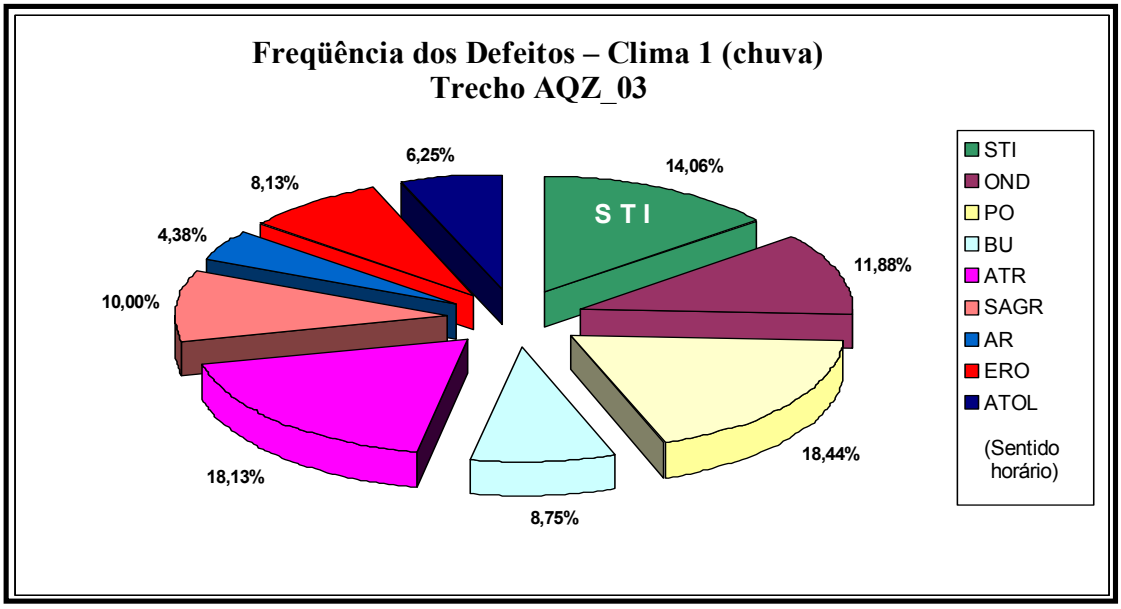

Figura 5.14: Freqüência dos defeitos – AQZ_03 – chuva

Ao observar as figuras 5.12, 5.13 e 5.14, vê-se que o defeito afundamento de trilhas de roda (ATR), se destaca, quanto à sua ocorrência, no clima chuvoso, em todas as estradas estudadas, obtendo índices próximos a 30% em duas delas (AQZ_01 e AQZ_02) e próximo a 20% em AQZ_03.

Outros defeitos que merecem ser citados são as ondulações (OND), que aparecem em segundo lugar em AQZ_02, com cerca de 25% de ocorrência e os buracos (BU), com cerca de 20% em AQZ_01, ocupando o segundo lugar nessa estrada.

Vale ressaltar ainda que, apesar de AQZ_02 apresentar altos índices de ocorrência para defeitos relevantes para a via como afundamento de trilhas de roda, ondulações e erosão (ERO), fato que não deixa de ser significativo; faz-se interessante e importante observar que AQZ_03 apresenta alguma ocorrência para todos os tipos de defeitos avaliados. No entanto, embora apresente 20% de ocorrência para ATR, a freqüência apresentada para o defeito atoleiro (ATOL), por exemplo, se encontra em torno de 7%, o que não o torna menos significativo, já que este defeito compromete a trafegabilidade da via, mesmo se estiver presente numa pequena percentagem da estrada.

Quanto à AQZ_01, além de apresentar altos índices para ATR e BU, cerca de 20 e 30%, respectivamente, é notável também uma pequena freqüência de atoleiros.

A seguir, as figuras 5.15, 5.16 e 5.17 exibem a ocorrência dos defeitos, nas estradas AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03 respectivamente sob o clima seco, representado pelo número 2.

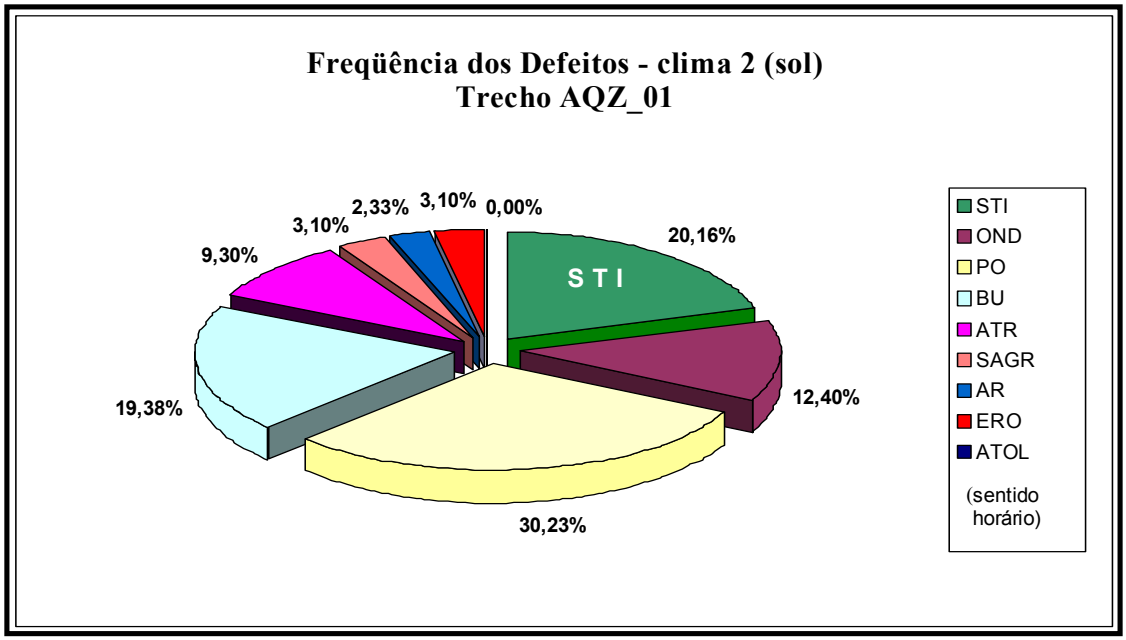

Figura 5.15: Freqüência dos defeitos – AQZ_01 – sol

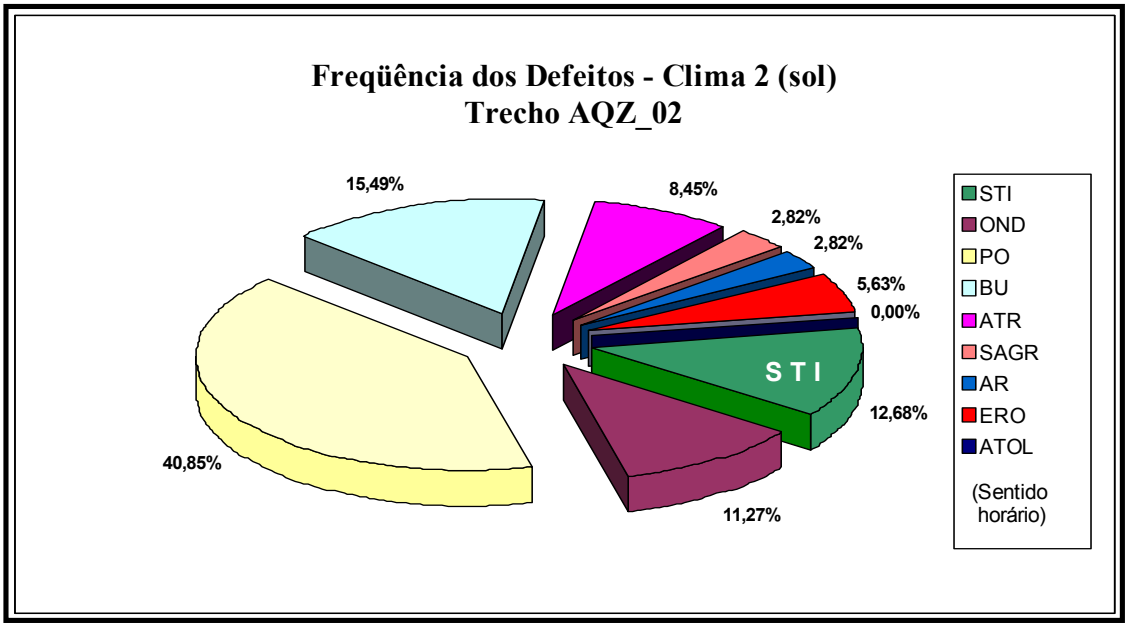

Figura 5.16: Freqüência dos defeitos – AQZ_02 – sol

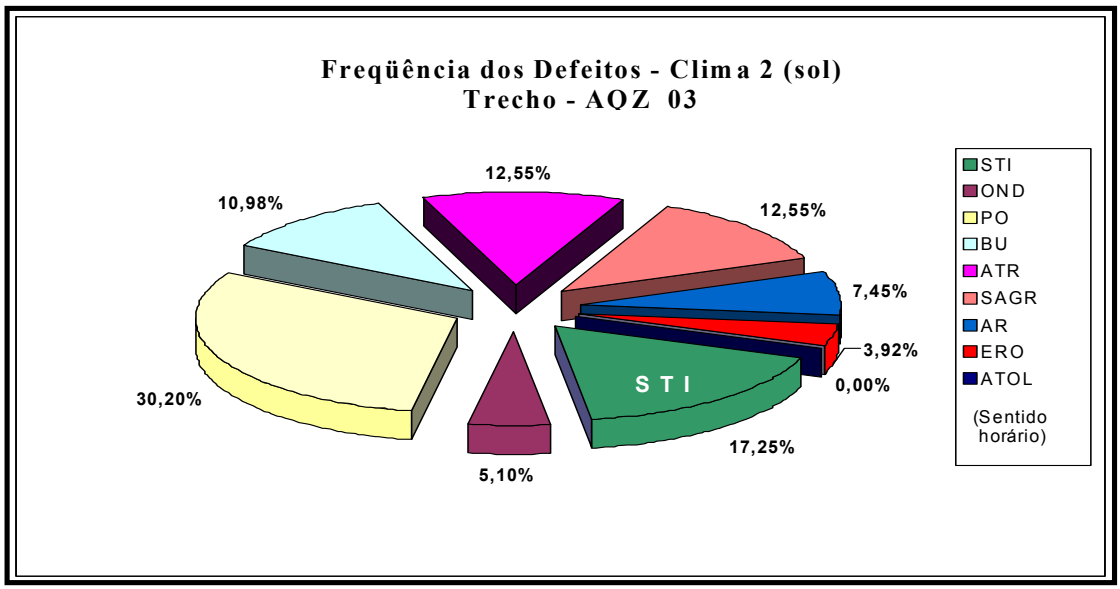

Figura 5.17: Freqüência dos defeitos – AQZ_03 – sol

Para o clima seco (figuras 5.15, 5.16 e 5.17), o quadro geral dos defeitos apresentados, sem levar em conta as suas severidades, se mostra mais brando. As maiores ocorrências concentram-se no defeito poeira, para as três estradas. Dentre os outros defeitos, se encontra, posicionada em segundo lugar, seção transversal inadequada (STI), em AQZ_01 e AQZ_03, com cerca de 20% de freqüência. Cabe ainda destacar o terceiro lugar para AQZ_01, buracos, com 20% de presença.

Numa segunda análise, serão observados alguns aspectos sobre a ocorrência das severidades por estrada, em cada um dos climas avaliados: seco (sol) ou chuvoso (chuva), independentemente dos defeitos associados a elas.

Convém lembrar que, como descrito no capítulo quatro, os níveis de severidade foram representados, para este trabalho, da seguinte forma: baixa (B), média (M), alta (A), baixa e média (B e M), média e alta (M e A), baixa e alta (B e A) e baixa, média e alta (B, M e A). Essa representação indica, em cada unidade amostral avaliada, como se distribui os graus ou níveis de severidade dos defeitos identificados. A notação B e M, por exemplo indica a presença de defeitos com graus de severidade baixo e médio.

As figuras 5.18, 5.19 e 5.20 exibem a ocorrência dos níveis de severidade, nas estradas AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03 respectivamente sob o clima chuvoso, representado pelo número 1.

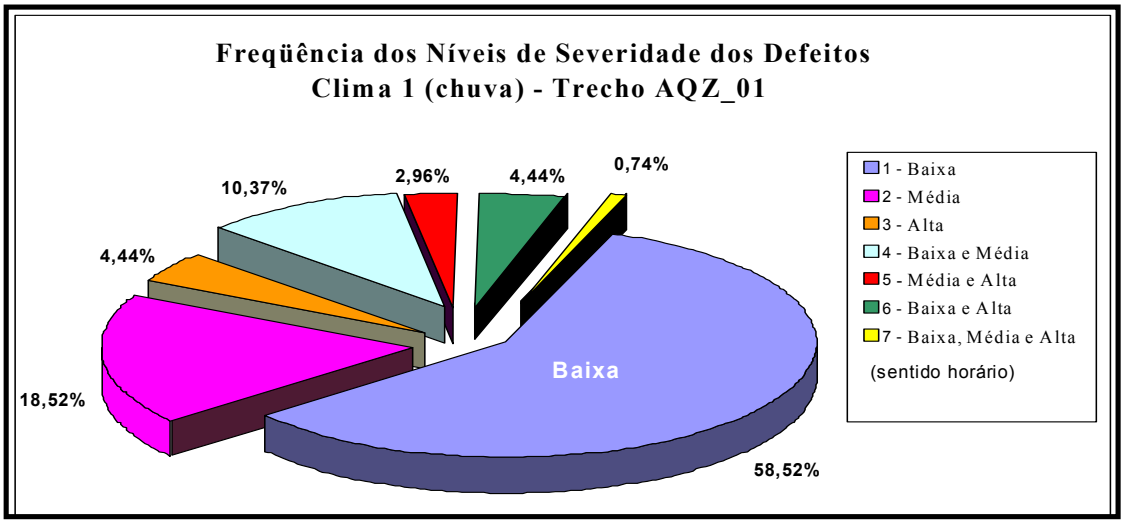

Figura 5.18: Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_01 – chuva

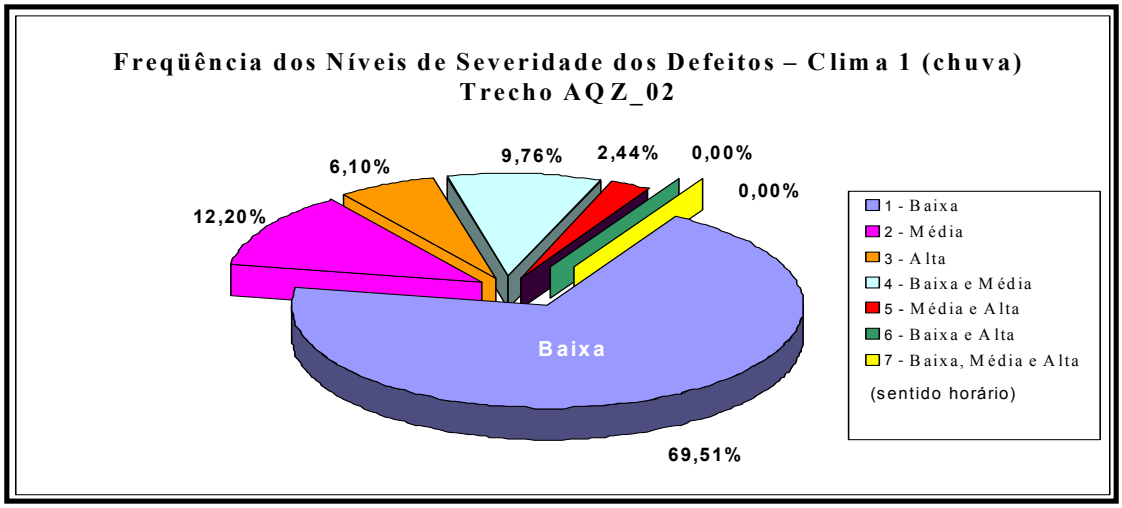

Figura 5.19: Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_02 – chuva

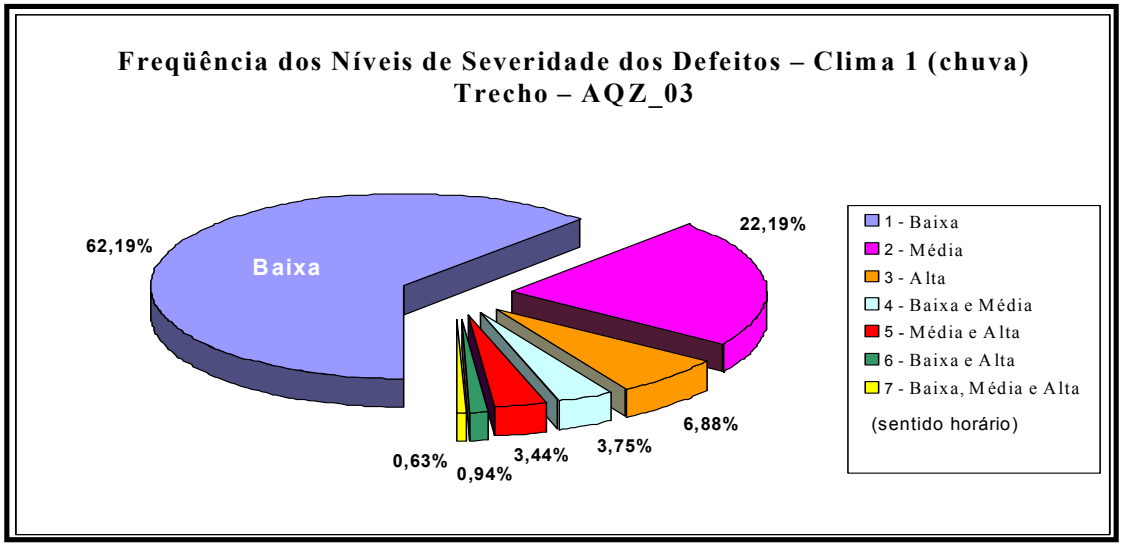

Figura 5.20: Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_03 – chuva

Verifica-se ao observar as figuras 5.18, 5.19 e 5.20 apresentadas que, sob o clima chuvoso, a grande maioria dos graus de severidade, independentemente do defeito associado a ela, encontra-se no nível baixo, mas pode ser notada uma percentagem de cerca de 20% para o nível médio e 6% para o alto.

Faz-se importante lembrar que, apesar da maioria estar em severidade baixa, as outras classes, representadas por freqüências menores, não são pouco significativas, se for considerado que dependendo do defeito, a severidade média ou alta pode significar uma interrupção do tráfego da via, o que acarretará prejuízos de todo tipo, como descrito no capítulo dois deste trabalho.

Finalizando esta primeira etapa dos resultados do Primeiro Procedimento Experimental, a dizer, a análise dos resultados obtidos em relação à ocorrência dos defeitos e graus de severidade nas estradas estudadas será apresentada, a seguir, nas figuras 5.21, 5.22 e 5.23 freqüência dos níveis de severidade, nas estradas AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03 respectivamente sob o clima seco, representado pelo número 2.

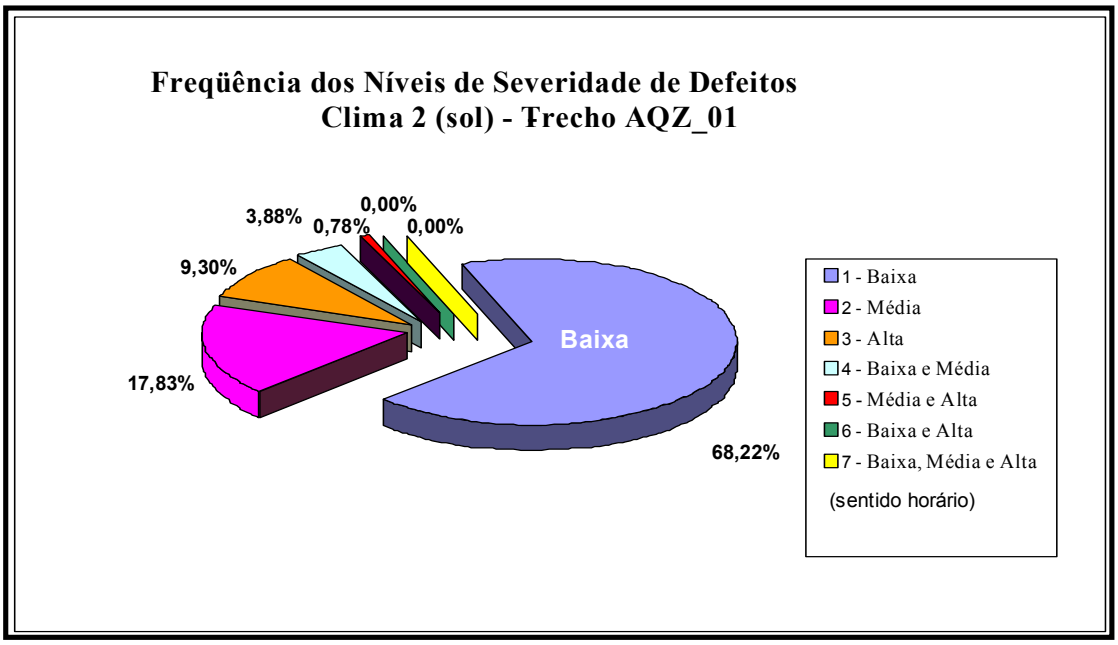

Figura 5.21: Freqüência dos níveis de severidade – AQZ_01 – sol

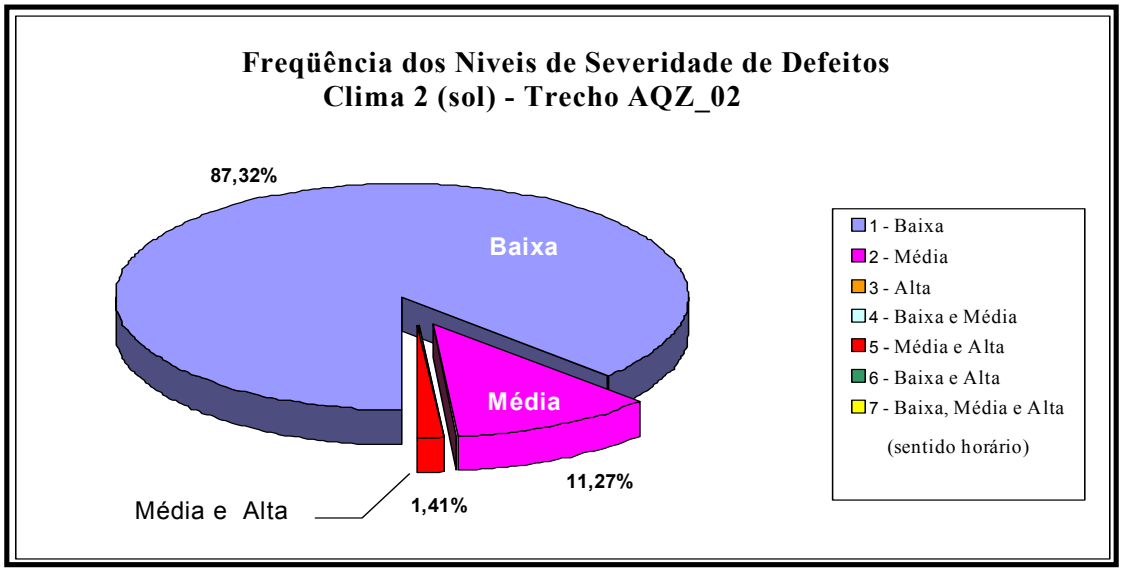

Figura 5.22: Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_02 – sol

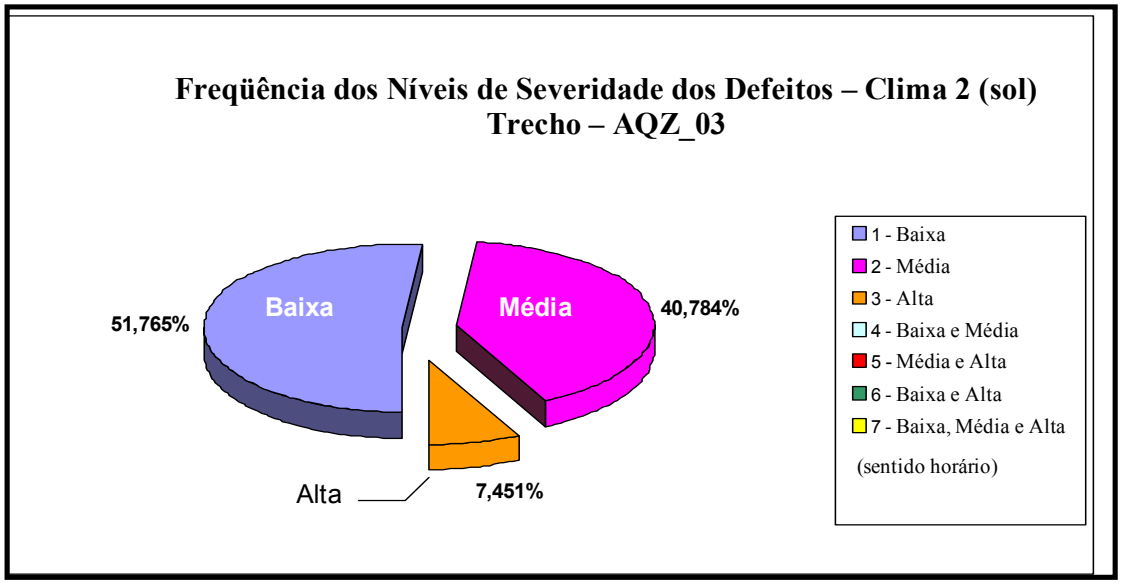

Figura 5.23: Freqüência dos níveis de severidade dos defeitos – AQZ_03 – sol

No período seco, conforme se observa nas figuras 5.21, 5.22 e 5.23 apresentadas, em média, os defeitos se mantêm maciçamente na mesma proporção dentro dos níveis de severidade baixa e média, podendo aparecer percentagens baixas, porém não insignificantes, de níveis de severidade altos. Nota-se também que as estradas se mantêm mais uniformes, isto é, só um nível de severidade por unidade amostral, baixa, média ou alta.

A segunda e última etapa dos resultados obtidos no Primeiro Procedimento Experimental diz respeito à ocorrência dos atributos, por estrada e em todo o trecho estudado. A seguir serão apresentadas observações à cerca da freqüência desses atributos por estrada avaliada e, na seqüência, por todo o trecho. As figuras 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27, em seguida, representam os percentuais encontrados, por atributos, nas três estradas relativas ao trecho em estudo.

A freqüência relativa ao primeiro dos quatro atributos coletados, denominado *valores de rampa*, está explicitada na figura 5.24, em seguida. Vale ressaltar que este atributo representa a declividade longitudinal do terreno e encontra-se dividido em três intervalos, a dizer: $r < 3$, $3 \leq r \leq 8$ e $r > 8$, representados pelos números 1, 2 e 3 respectivamente.

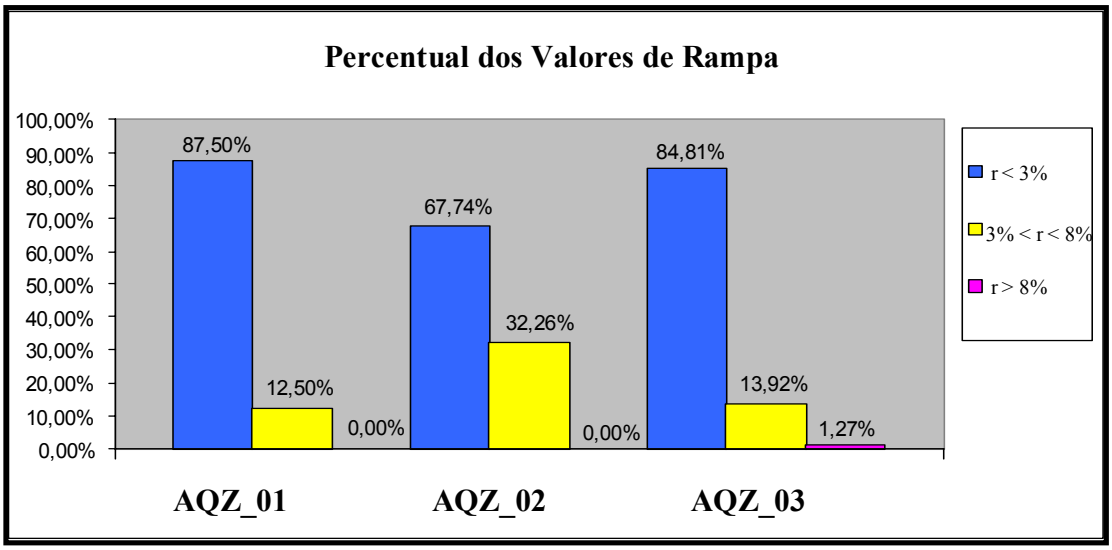

Figura 5.24: Percentual dos valores de rampa encontrados em todo o trecho

Pode-se observar, na figura 5.24 apresentada, que a maior concentração dos valores de rampa encontra-se no que foi denominado para este trabalho como rampa tipo 1, que são aquelas cujos valores são menores que 3%. Vale ressaltar a presença, mesmo que esparsa, das rampas tipo 3, que são os valores maiores que 8%, representadas por uma pequena percentagem em AQZ_03: 1,27%.

O segundo atributo considerado, *tipos de solo*, encontra-se dividido em duas grandes classes, com base na classificação HRB: solos granulares, representados pelo

número 1 e solos siltosos e argilosos, pelo número 2, conforme explicado no capítulo quatro desta dissertação.

A figura 5.25 exibida a seguir, apresenta a distribuição da ocorrência dos solos nas estradas avaliadas, os quais estão classificados de acordo com o seu comportamento como subleito, em granulares (de excelente a bom), e siltosos e argilosos (de regular a mau), de acordo com o sistema H.R.B.

Neste contexto, observa-se que, em duas das três estradas avaliadas - AQZ_02 e AQZ_03 - a maior freqüência está representada pelos solos granulares, com valores em torno de 80 e 77% respectivamente, embora AQZ_01 com sua maioria englobada nos solos argilosos e siltosos 62,5% apresente também solos granulares.

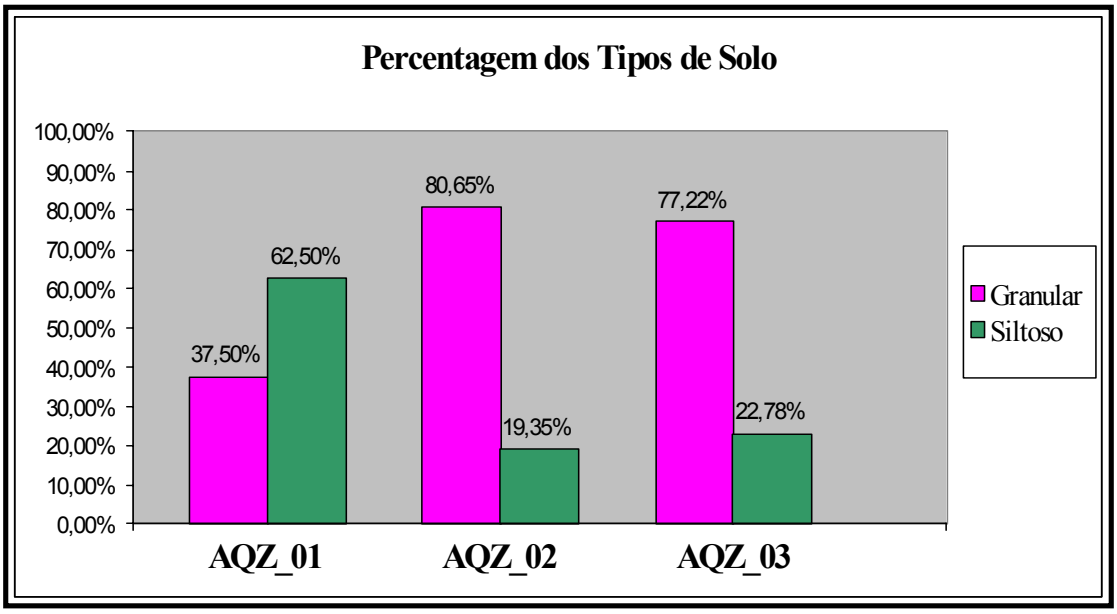

Figura 5.25: Percentual dos tipos de solo encontrados em todo o trecho

A *ocorrência de sistemas de drenagem,* terceiro atributo considerado, encontra-se representada, em caso positivo, pelo número 2 e, em caso negativo, pelo número 1.

Constata-se, ao observar-se a figura 5.26, mostrada a seguir que, em todas as estradas avaliadas, a ocorrência deste atributo é bastante baixa, 2,5; 3,23 e 6,33% respectivamente.

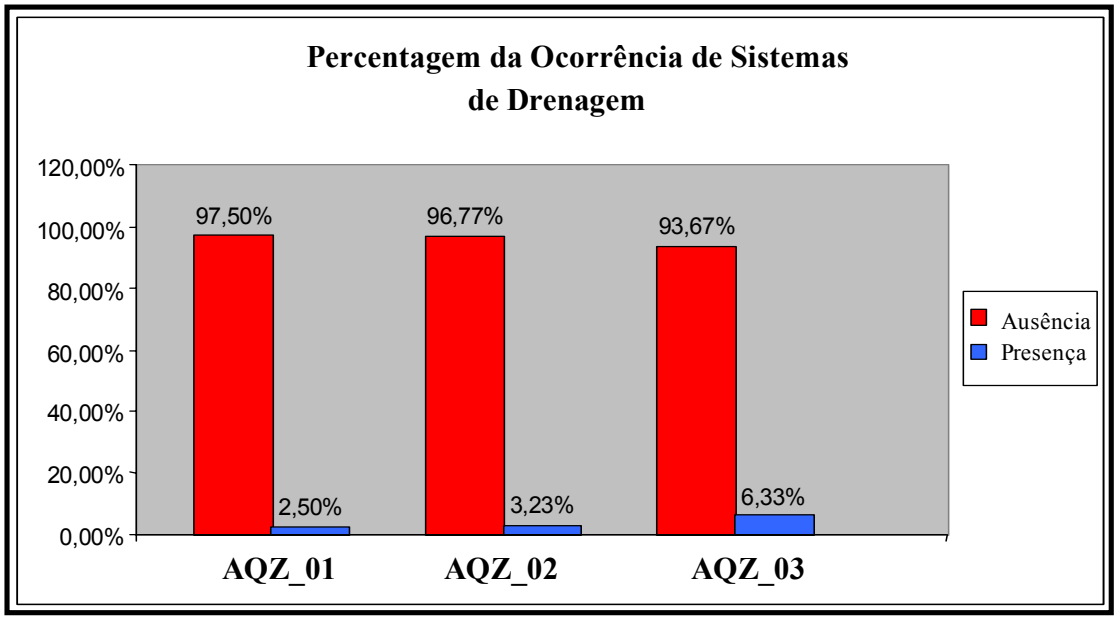

Figura 5.26: Percentual da ocorrência de sistemas de drenagem em todo o trecho

O quarto e último atributo analisado isoladamente são os *tipos de seção transversal*, os quais são classificadas em: em calha, mista e, abaulada e encaixada, representados pelos números 1, 2, e 3 respectivamente. A figura 5.27, a seguir, apresenta os percentuais de ocorrência deste atributo nas estradas avaliadas.

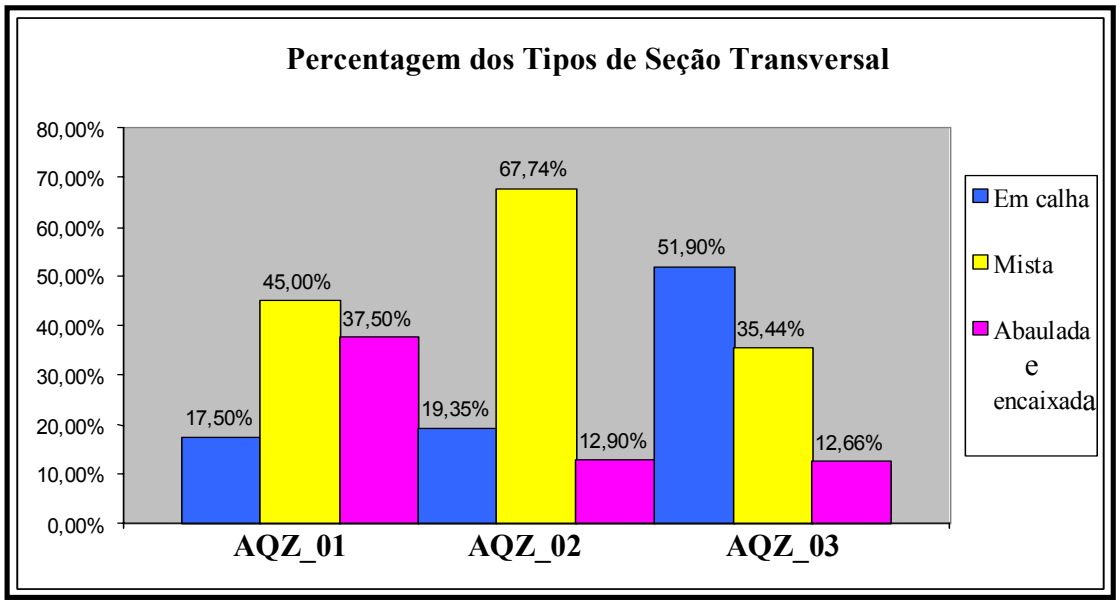

Figura 5.27: Percentual da ocorrência dos tipos de seção transversal em todo o trecho

Observa-se na figura 5.27 apresentada que o atributo a ser analisado, *tipos de seção transversal*, mostrou, em duas das três estradas estudadas, a maior ocorrência

encontrada para seções mistas: AQZ_01 e AQZ_02, com 45 e 67,74%, respectivamente, embora o mais alto índice de freqüência para a seção abaulada e encaixada esteja em AQZ_01: 37,5%. Já, na AQZ_03, a maior freqüência está representada pela seção transversal em calha, apresentando 52% das ocorrências.

Para finalizar a análise dos resultados obtidos no Primeiro Procedimento Experimental, serão exibidos na figura 5.28, os percentuais da ocorrência dos *tipos de atributos em todo o trecho.*

Vale lembrar que, cada tipo de atributo encontra apresentado na figura 5.28, segundo as categorias nas quais foram subdivididos.

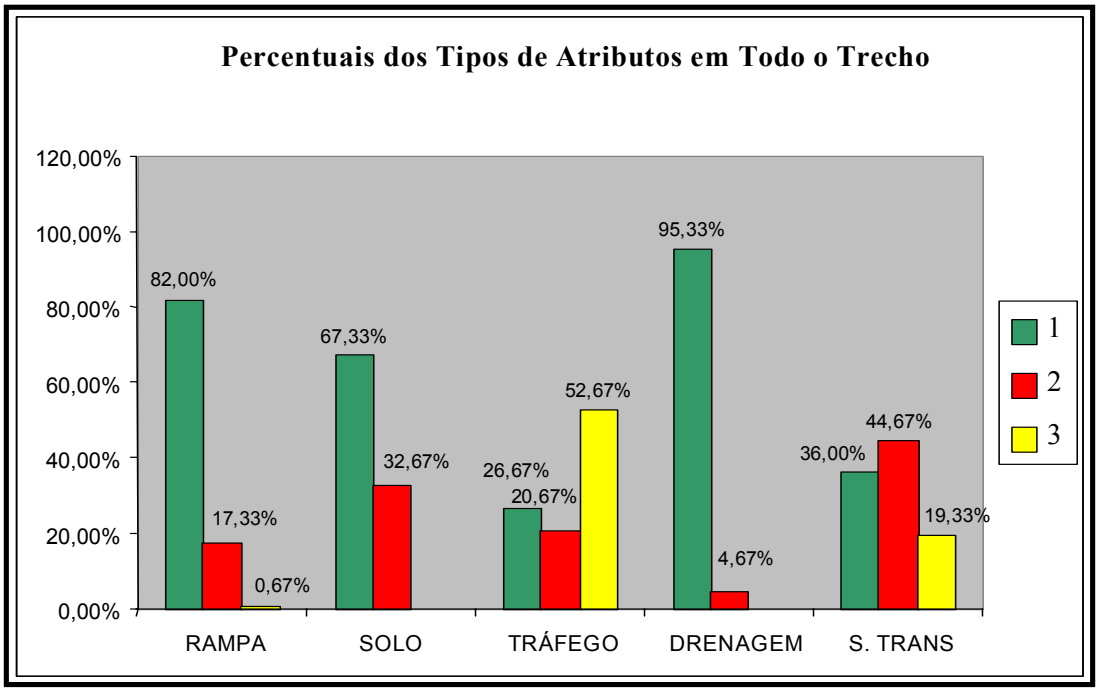

Figura 5.28: Percentual da ocorrência de todos os atributos em todo o trecho

Ao avaliarmos a distribuição dos atributos por todo o trecho estudado, observa-se o seguinte:

a) os valores de rampa se encontram mais freqüentemente na classe menor que 3%, com 82% das ocorrências;

b) os solos mais freqüentemente encontrados são os granulares com 68% das ocorrências, o que não torna insignificante a freqüência de solos siltosos e argilosos: 33%;

c) faz-se importante observar que os sistemas de drenagem, atributo de grande relevância na formação e agravamento dos defeitos em vias não-pavimentadas, encontram-se ausentes em 95% das ocorrências;

d) quanto ao tipo de seção transversal, a seção em calha, que favorece o acúmulo de água no centro da via e também a erosão, está presente em aproximadamente 52% das ocorrências; a abaulada mas encaixada aparece em 37,5% das ocorrências e a mista, 67,74% das ocorrências. Estas últimas, favorecem o acúmulo de água nas laterais da estrada.

Por fim, a título de considerações finais sobre os resultados obtidos por meio do Primeiro Procedimento Experimental, serão feitas comparações entre as análises anteriores, com o objetivo de mostrar as relações possíveis entre os atributos, os defeitos e suas severidades.

Considerando rampa, solo, clima e tráfego parâmetros relevantes na ocorrência e agravamento dos defeitos e seus níveis de severidade, o desfecho da análise dos dados do Primeiro Procedimento Experimental, implica em algumas conclusões:

a) em AQZ_01, estrada com a maior percentagem de solos siltosos e argilosos e, portanto de comportamento regular a mau como subleito, à vista da baixa capacidade de suporte, foi encontrada a maior freqüência do defeito ATR, com cerca de 30% das ocorrências no clima chuvoso;

b) ainda em AQZ_01, com todas as condições descritas anteriormente, há ocorrências de defeitos em todos os níveis de severidades possíveis, isto é, baixo, médio, alto, baixo e médio, médio e alto, baixo e alto e, baixo, médio e alto;

c) por fim, em AQZ_03, embora a maioria dos seus solos esteja enquadrada na classe dos granulares, não é desprezível a parte que cabe aos siltosos e argilosos (23%), pois justamente nestes, a presença das rampas, maiores que 8%, embora em pouca proporção, apresenta a maior percentagem de defeitos com severidade alta.

5.3.2 Resultados Obtidos no Segundo Procedimento Experimental

Uma vez definidos os conjuntos de dados, feitas as partições, propõem-se algumas topologias, para então ter início o processo de treinamento no simulador adotado.

As arquiteturas propostas diferem em dois aspectos descritos a seguir:

a) variáveis de entrada e saída: podem ser definidas conforme o tipo de problema a ser resolvido. Para este estudo foram propostas duas arquiteturas principais: a primeira, 6 – X – 9, cujas variáveis de entrada e as de saída foram definidas como *inteiras*; e a segunda, 6 – X – 27, cujas variáveis de entrada foram definidas como *inteiras* e as de saída foram definidas como *booleanas*;

b) quanto ao número de neurônios intermediários: esta escolha, em geral, é feita por experimentação, isto é: faz-se necessário testar redes com várias arquiteturas. Vale ressaltar que cada configuração deve ser testada para todos os três conjuntos de dados. Para este estudo foram realizados 216 treinamentos para a primeira topologia proposta (6 – X – 27) e 180 para a segunda (6 – X – 9), variando os parâmetros de números de neurônios intermediários, procedimento que ocupou um tempo de dois meses.

Definidas as topologias propostas, foi dado início ao processo de aprendizado da rede, a dizer: treinamento e validação.

Em uma primeira abordagem foram submetidas a treinamento as redes com a arquitetura do tipo 6 – X – 27, cujas variáveis de saída foram definidas como *booleanas*, isto é: ou cada padrão de saída é verdadeiro ou é falso. Em seguida foram submetidas as redes com arquitetura do tipo 6 – X – 9, para as quais todas as variáveis foram definidas como reais.

Após diversas tentativas de treinamento com as topologias propostas, não foram obtidos resultados satisfatórios.

Para o tipo 6 – X – 27, o simulador não aceitava algumas variáveis de saída, nas quais mais de 90% das ocorrências pertenciam a um mesmo padrão.

Já com relação ao tipo 6 – X – 9 o treinamento foi iniciado mas, mesmo variando os valores de *momentum* e taxa de aprendizagem, não houve êxito. Apesar da taxa de validação atingir valores altos, fato indicativo de que a rede conseguiu extrair regras dos exemplos apresentados, o erro médio não se manteve dentro do valor estabelecido (0,05), ou seja: a rede não aprendeu. Vale lembrar que, de acordo com a literatura especializada, normalmente se exige que o erro médio durante o treinamento e validação seja inferior a 5%.

Diante dessa circunstância, optou-se por uma segunda abordagem para o problema dos dados: testar uma outra estrutura de dados, por meio de hierarquização, isto é, associação de pesos às entradas e saídas, buscando relacioná-las cada vez melhor e tornar mais claro para a rede neural artificial as diferenças existentes entre elas com o intuito de minimizar o erro.

No que concerne às entradas, estabeleceu-se uma ordem hierárquica com base no grau de prejuízo relacionado à interrupção do tráfego na via. Assim, observa-se na tabela 5.8 que as variáveis de entrada estão dispostas em ordem crescente, com relação aos pesos atribuídos. A hierarquização na direção horizontal seguiu uma mesma razão de valores que na direção vertical: uma potência de dez.

Tabela 5.8: Associação de pesos às variáveis de entrada

Entradas											
Tráfego		Drenagem		Clima		S. Transversal		Solo		Rampa	
Inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final
1	**0**	2	**0**	2	**0**	1	**0**	1	**0**	2	**0**
2	**10**	1	**100**	1	**1000**	2	**10000**	2	**100000**	1	**1000000**
3	**200**					3	**200000**			3	**20000000**

Com relação às saídas, procedeu-se da mesma maneira, ou seja, os defeitos foram dispostos em ordem crescente, relacionados no critério prejuízo à via em termos de interrupção do tráfego. Neste caso, por exemplo, o defeito considerado como o

causador de interrupção do tráfego na via e, por isso detentor dos maiores pesos é o atoleiro. Os resultados obtidos estão exibidos na tabela 5.9:

Tabela 5.9: Associação de pesos às variáveis de saída

Classes	Saídas																	
	PO		SAGR		OND		ERO		AR		BU		ATR		STI		ATOL	
	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x	inicial	10^x
0	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**	0	**00**
I	1	**01**	1	**02**	1	**03**	1	**04**	1	**05**	1	**06**	1	**07**	1	**08**	1	**09**
II	2	**02**	2	**03**	2	**04**	2	**05**	2	**06**	2	**07**	2	**08**	2	**09**	2	**10**
III	3	**03**	3	**04**	3	**05**	3	**06**	3	**07**	3	**08**	3	**09**	3	**10**	3	**11**
IV	4	**04**	4	**05**	4	**06**	4	**07**	4	**08**	4	**09**	4	**10**	4	**11**	4	**12**
V	5	**05**	5	**06**	5	**07**	5	**08**	5	**09**	5	**10**	5	**11**	5	**12**	5	**13**
VI	6	**06**	6	**07**	6	**08**	6	**09**	6	**10**	6	**11**	6	**12**	6	**13**	6	**14**
VII	7	**07**	7	**08**	7	**09**	7	**10**	7	**11**	7	**12**	7	**13**	7	**14**	7	**15**

Os resultados expostos nas tabelas 5.8 e 5.9, indicam os novos valores de variáveis de entrada e saída com os quais a rede de arquitetura 6 – X – 9 foi treinada.

De posse desses novos valores de entradas e saídas, reiniciou-se o treinamento no simulador, variando o número de neurônios intermediários, o *momentum* e a taxa de aprendizagem. Assim, contornado o problema inicial, foram escolhidos alguns modelos que se mantiveram dentro dos padrões estabelecidos: erro médio menor que 0,05 e taxa de validação superior a 85%.

Em seguida, submeteram-se esses modelos escolhidos à última etapa da simulação - o teste - cujo objetivo é representar o comportamento da RNA em uma situação real, isto é, mediante valores que não foram previamente apresentados a ela na etapa de treinamento.

O parâmetro usado como indicador do desempenho do modelo foi o erro quadrático médio (EQM) pois, quanto menor este erro no conjunto de validação, melhor a arquitetura de RNA a ele associada.

Depois de avaliar, cuidadosa e exaustivamente, a performance dos modelos de redes com diferentes configurações quanto ao número de camadas e neurônios intermediários, o modelo eleito como melhor opção foi o de arquitetura 6 – 10 – 9: seis neurônios na camada de entrada, dez na camada intermediária e nove na camada de saída, exposto na figura 5.28.

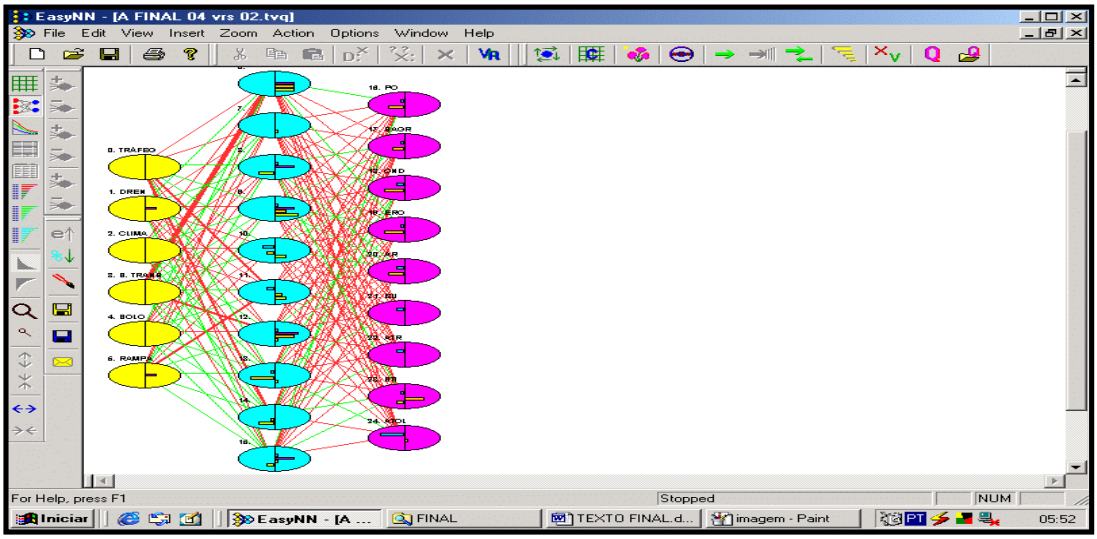

Figura 5.28: Arquitetura da RNA com melhor desempenho

Para se analisar até que ponto os valores estimados pelo modelo de RNA escolhido está relacionado com os valores reais, fez-se uso do coeficiente de determinação (r^2), medida estatística associada à dispersão dos pontos ao redor da curva de regressão, conforme explicado no capítulo quatro.

A seguir, observa-se, nas tabelas 5.10, 5.11 e 5.12, o Erro Quadrático Médio no conjunto de dados de validação, assim como o coeficiente r^2, e o desempenho médio da RNA para cada uma das variáveis de saída, este último calculado no conjunto de dados de teste.

Tabela 5.10: Erro Quadrático médio e por variável de saída no conjunto de validação

Erro médio e por variáveis de saída - classe de defeitos (%)									
PO	SAGR	OND	ERO	AR	BU	ATR	STI	ATOL	Médio
2,67	0,48	3,05	2,89	0,48	5,26	4,20	1,50	0,64	**2,35**

Tabela 5.11: Coeficiente de determinação médio (r^2) e por variável de saída

Coeficiente de determinação (r^2) médio e por variáveis de saída									
PO	SAGR	OND	ERO	AR	BU	ATR	STI	ATOL	Médio
0,990	0,988	0,984	0,987	0,986	0,987	0,987	0,946	0,893	**0,97**

Tabela 5.12: Desempenho médio e por variável de saída no conjunto de teste

Desempenho médio e por variáveis de saída (%)									
PO	SAGR	OND	ERO	AR	BU	ATR	STI	ATOL	Médio
98,80	99,35	95,63	92,64	94,09	81,92	85,53	84,82	86,35	**91,01**

Observa-se nas tabelas 5.10, 5.11 e 5.12 que tanto o Erro Quadrático Amostral, quanto os outros dois parâmetros utilizados: o coeficiente de determinação e o desempenho (relação entre a quantidade de acertos e a quantidade de dados testados), foram calculados para cada variável separadamente. Isto mostra que interatividade entre o modelo de RNA eleito e as características previstas varia um pouco, pois quanto maior esses parâmetros mais fiéis são as relações entre as variáveis de entrada e saída extraídas pelo modelo.

Nas figuras 5.29 e 5.30, observa-se o gráfico do modelo de RNA eleito, onde estão expostas as curvas referentes aos erros mínimo, médio e máximo, durante a fase de aprendizado.

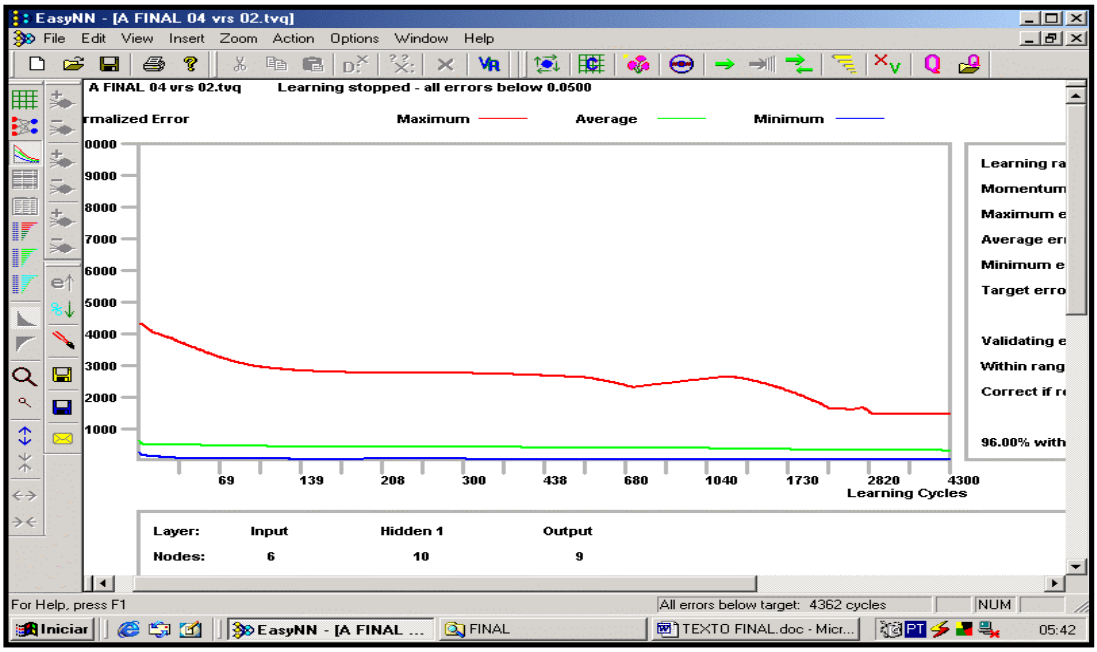

Figura 5.29: Gráfico da RNA com melhor desempenho

A figura 5.30 mostra que os critérios de parada para que o modelo seja considerado validado, obedecem aos padrões estabelecidos, isto é, erro médio menor ou igual a 0,05 e erro máximo inferior a 0,15.

Além disso, nota-se que do total de 75 exemplos de validação, o modelo eleito teve um desempenho de 96%, o que quer dizer que obteve êxito em 72 exemplos.

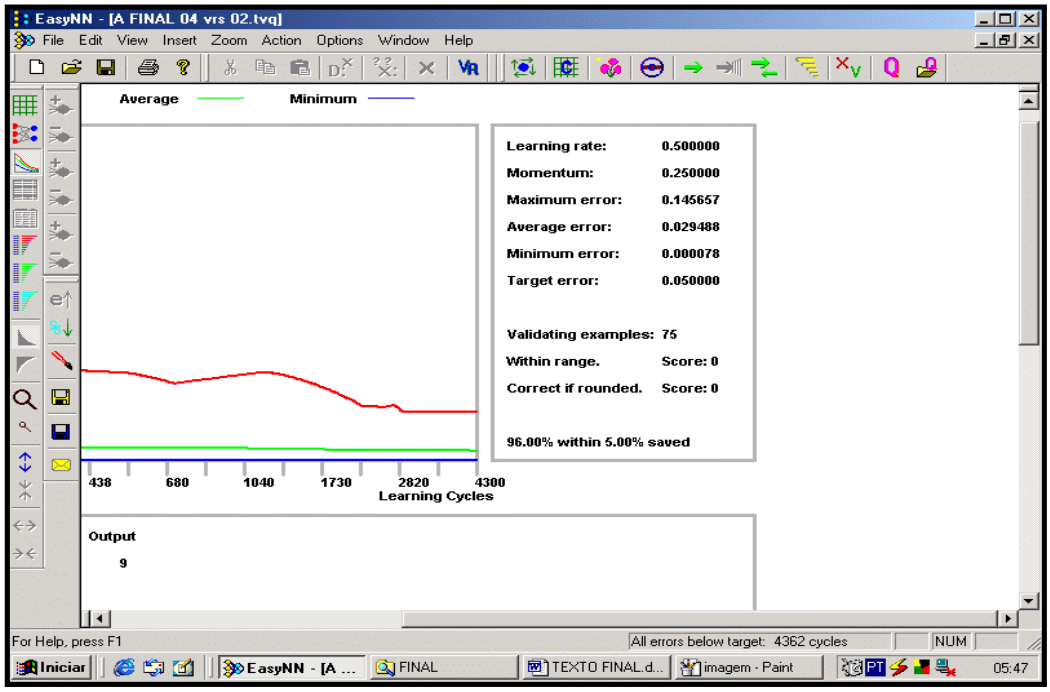

Figura 5.30: Gráfico da RNA com melhor desempenho – parâmetros

A partir do melhor modelo, foi avaliada a influência das variáveis, por meio da técnica de *prunning* que consiste, como mencionado anteriormente, em anular os pesos e conexões não significativos. Os resultados dessa avaliação estão representados no gráfico exposto na figura 5.31, a seguir.

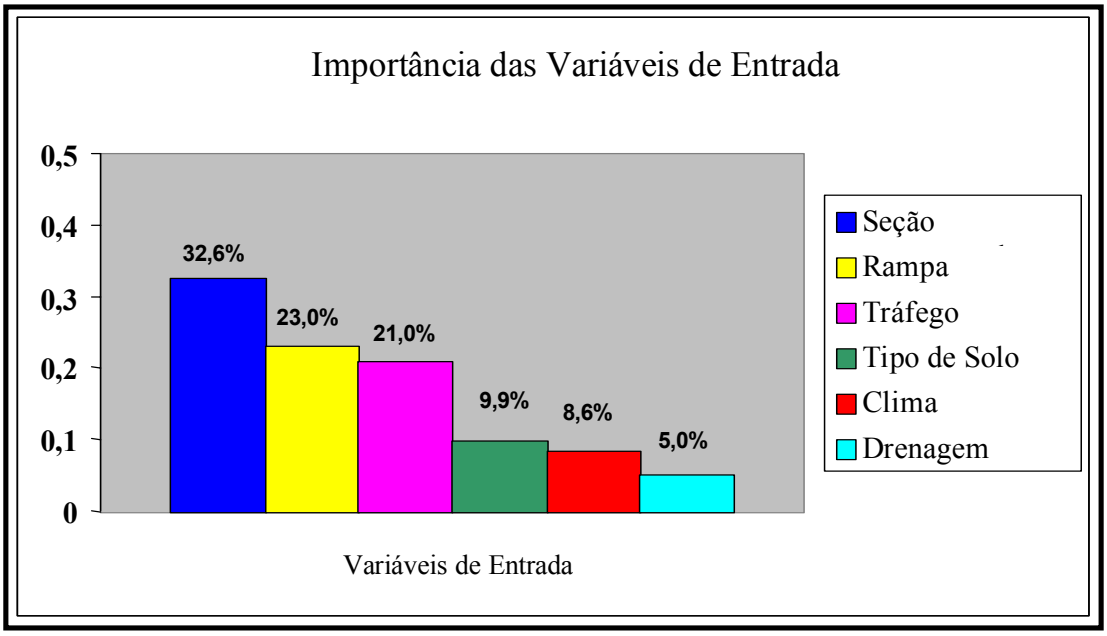

Figura 5.31: Importância das variáveis de entrada para o modelo de RNA eleito

De posse dos valores da importância das variáveis expressos em percentagens, pode-se excluir alguma variável cujo percentual a torne irrelevante, fato que depende do autor do estudo. Foram encontrados na literatura valores variados. Para este trabalho, optou-se por não excluir nenhuma das variáveis, visto que a variável de menor importância apresentou o percentual de 5%.

5.3.3 A Interface de Aplicação

Esta etapa cumpriu o objetivo de conferir maior efetividade à aplicação da técnica das RNA e sintetiza a função do MÉTODO desenvolvido no decorrer desta pesquisa.

A Interface de Aplicação do MÉTODO está representada por uma planilha desenvolvida no *software* Microsoft Excel 2000 (ANEXO) que simula o funcionamento do modelo de RNA que obteve o melhor desempenho.

Esta planilha, segundo critérios com as quais foi instruída, também apresenta uma ordem de priorização das unidades amostrais, conforme a quantidade de defeitos e os seus respectivos graus de severidade.

Pela observação do ambiente gráfico da planilha eletrônica abaixo, figura 5.32, contata-se a simplicidade que confere facilidade de operação ao usuário não habituado aos *softwares* sofisticados.

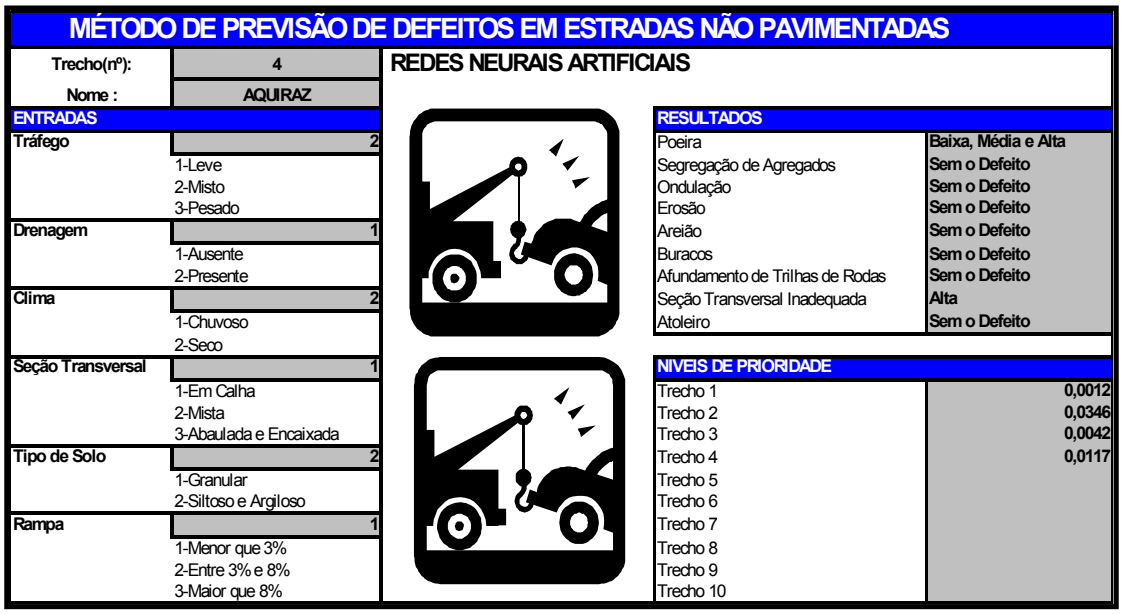

Figura 5.32: Interface de Aplicação do MÉTODO proposto

A disposição da planilha é bastante simples. Os campos a serem preenchidos pelo usuário estão dispostos da seguinte maneira: o nome da unidade amostral que se quer avaliar, denominada na interface como trecho, no canto superior esquerdo e logo abaixo, aparecem os campos a serem preenchidos com os dados de entrada (atributos).

No canto direito da planilha, aparecem os campos que serão preenchidos automaticamente na medida em que esta seja alimentada com as entradas: os defeitos previstos pelo modelo de RNA treinado e um índice de priorização dos trechos ou unidades amostrais que mais necessitam de intervenção.

É importante destacar, em relação à interface desenvolvida, sua facilidade para incluir características, isto é a possibilidade de atualização da mesma, bastando para isso que o modelo de Rede Neural Artificial escolhido seja treinado novamente e os novos valores dos pesos e dos *bias* sejam substituídos.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação possibilita, por meio da Interface de aplicação, o uso mais efetivo por não especialistas, de uma técnica que dificilmente poderia ser aplicada por um usuário não familiarizado com modelagem matemática.

Uma das vantagens observadas com a utilização da Interface de Aplicação é o fato de as planilhas eletrônicas já serem largamente utilizadas. Conseqüentemente, a maior facilidade na implementação de soluções baseadas nesse ambiente computacional é justificada principalmente pela existência de um baixo nível de dificuldade em utiliza-las.

O desenvolvimento de uma interface compatível com usuários pouco ou não familiarizados com *softwares* sofisticados, neste caso, possibilita a utilização por uma parcela cada vez maior de não especialistas na operação desse aplicativo, o que não significa porém, reduzir a atuação de profissionais especializados na construção de outros modelos pertinentes à previsão dos defeitos com vistas a uma manutenção regular e preventiva nas estradas vicinais de terra.

CAPÍTULO 06

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A execução da pesquisa aqui apresentada, conduzida no campo da Previsão de Defeitos em Estradas Não-pavimentadas, demonstrou experimentalmente ser possível antever os defeitos presentes em estradas vicinais de terra, para o município de Aquiraz/CE, a partir de atributos selecionados, com base na aprendizagem proporcionada por meio de exemplos que relacionassem atributos e defeitos. Para tanto se utilizou uma Rede Neural Artificial do tipo *Multilayer Perceptron*, treinada com o algoritmo *Backpropagation*.

Considerando a pouca informação disponível sobre estradas de terra no Estado do Ceará, assim como o reduzido número de pesquisas relativas a este assunto no Brasil, espera-se que a presente dissertação contribua para auxiliar a tomada de decisão quanto às intervenções nas vias objetivadas segundo um ordenamento de prioridade, subsidiando o subsistema maior da manutenção de tais vias e o sistema de gerência de vias enfim.

Neste capítulo destacam-se a adequação e a originalidade da pesquisa empreendida, bem como as principais conclusões, sugestões e recomendações para estudos futuros, resultantes da aplicação, do MÉTODO desenvolvido, no município de Aquiraz/CE.

6.2 ORIGINALIDADE E ADEQUAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

A pesquisa aqui apresentada tomou como foco a previsão dos defeitos em estradas de terra como forma de que, desde que eficaz e otimizada, a previsão de defeitos represente um mecanismo importante para subsidiar as atividades de um sistema de gerência, em especial o processo de tomada de decisão quanto à alocação dos recursos financeiros disponíveis para as intervenções a executar tendentes à perenização das vias.

Como, normalmente, métodos que abranjam coletas e exames de dados mais apurados importam em elevado custo, o quadro remete à necessidade da busca de alternativas eficazes, mas com razoável simplicidade e de baixo custo.

Para tal intento, analisaram-se técnicas que baseassem a classificação de padrões, tanto as mais convencionais como as emergentes. Este esforço culminou com a opção fundamentada pelo uso da técnica das Redes Neurais Artificiais para compor o núcleo de um método de previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas.

No entanto, se fez necessário o levantamento detalhado da realidade do local de intervenção - Aquiraz/CE - para que se dispusessem dados confiáveis e idôneos que permitissem análises capazes de antever os tipos de defeitos decorrentes da reunião de diferentes atributos. Estas análises foram apoiadas pela adequação do método de avaliação de vias não-pavimentadas desenvolvido por Eaton *et al.* (1987a), bem como as suas adaptações feitas por Oda (1995) e Fontenele (2001), aliadas à premissa defendida por Santos *et al.* (1988), descritas nos capítulos dois e quatro.

Isto impingiu ao MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS VICINAIS DE TERRA grande maleabilidade, ratificando o considerável sucesso com o qual a técnica das RNA vem sendo aplicada na área de infraestrutura de transportes como demonstrado no capítulo cinco.

Ressalte-se que o trabalho que integrou a revisão bibliográfica não identificou, a partir das fontes nacionais bem como das estrangeiras, a existência de método específico para previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas que tenha recorrido à utilização da técnica das Redes Neurais Artificiais, o que vem qualificar a originalidade e a tendência inovadora da pesquisa implementada, reservadas naturalmente ao foco de aplicação que foi proposto.

6.3 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

6.3.1 QUANTO AO PRIMEIRO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.3.1.1 Ocorrência dos defeitos identificados

a) o defeito afundamento de trilhas de roda (ATR) destaca-se quanto à sua ocorrência no clima chuvoso, em todas as estradas estudadas, obtendo índices próximos a 30% em AQZ_01 e AQZ_02 e próximo a 20% em AQZ_03;

b) o defeito atoleiro (ATOL) está presente, embora em pequena proporção, em AQZ_01 e AQZ_03, com cerca de 2% e 6% respectivamente, sob o clima chuvoso;

c) na estrada AQZ_03, foi constatada a presença de todos os defeitos avaliados, cujas percentagens variaram de cerca de 4% para areião até cerca de 18%, para afundamento de trilhas de roda;

d) o quadro geral dos defeitos, apresentado sob o clima seco, se mostra mais brando, com as maiores ocorrências referidas ao defeito poeira (PO) que apresentou os percentuais de 30% para AQZ_01 e AQZ_03 e 41% para AQZ_02.

6.3.1.2 Ocorrência dos níveis de severidade identificados

a) sob o clima chuvoso, a grande maioria dos níveis de severidade, independente do defeito associado a ela, encontra-se no grau baixo, cujos percentuais apresentados são respectivamente 58,5%, 69,5% e 62,2% para AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03;

b) sob o clima chuvoso, apesar dos outros níveis de severidade avaliados apresentarem freqüências menores, estas não podem ser consideradas pouco significativas, principalmente nas unidades amostrais avaliadas que apresentaram mais de um nível de severidade de defeitos;

c) sob o clima seco, somente a estrada AQZ_01 que, além dos níveis baixo, médio e alto, apresentou ocorrência de graus de severidade baixo e médio e médio e alto na mesma unidade amostral avaliada. As estradas AQZ_02 e AQZ_03 mantiveram os níveis de severidade apresentados nos graus baixo, médio e alto.

6.3.1.3 Percentual de Ocorrência dos Valores de Rampa

a) este atributo, que representa a declividade longitudinal do terreno, apresentou, nas três estradas avaliadas, as maiores ocorrências relativas a valores menores que 3%;

b) os percentuais apresentados foram 87,5%, 67,7% e 84,8% para valores menores que 3% em AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03, respectivamente;

c) para valores entre 3% e 8%, os percentuais apresentados foram12,5%, 32,3% e 13,92% para AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03, respectivamente;

d) somente AQZ_03 apresentou valores de rampa maiores que 8%.

6.3.1.4 Percentual de Ocorrência dos Tipos de Solo

a) para os dois tipos de solo classificados segundo seu comportamento como subleito (HRB) - granular e siltoso e argiloso - foi constatada, em duas das três estradas, AQZ_02 e AQZ_03, a maior freqüência dos solos granulares, com percentuais em torno de 80% e 77%, respectivamente;

b) a estrada AQZ_01, que apresentou significativa ocorrência de afundamento de trilhas de roda e buracos, teve a maior ocorrência de solos siltosos e argilosos, com cerca de 63%.

6.3.1.5 Percentual de Ocorrência dos Sistemas de Drenagem

a) constatou-se, em todas as estradas avaliadas, a rara presença de dispositivos de drenagem, cuja ocorrência alcançou 2,5%, 3,2% e 6,3% em AQZ_01, AQZ_02 e AQZ_03, respectivamente;

b) destaca-se que a falta de sistemas de drenagem acarreta um aumento significativo nos níveis de severidade apresentados para os defeitos identificados.

6.3.1.6 Percentual de Ocorrência dos Tipos de Seção Transversal

a) este atributo apresentou em AQZ_01 e AQZ_02, a maior ocorrência para seções transversais mistas, com percentuais de 45,0% e 67,7%, respectivamente;

b) em AQZ_03 apresentou o mais alto índice de freqüência para seção transversal em calha, com 52% das ocorrências. Notou-se que este tipo favorece o acúmulo de água na ausência de sistema de drenagem eficiente e, justamente esta estrada apresentou 7% de ocorrência do defeito atoleiro.

6.3.2 QUANTO AO SEGUNDO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.3.2.1 Variáveis de Entrada e Saída

a) de acordo com o grau de interferência na interrupção do tráfego na via, foram atribuídos pesos (potências de dez) a cada uma dessas variáveis, conforme exibidos nas tabelas 5.8 e 5.9;

b) O tratamento hierárquico conferido às variáveis de atributos e defeitos contribuiu sensivelmente para o êxito do modelo, o que foi constatado ao longo do meticuloso processo de treinamento e validação da Rede Neural Artificial.

6.3.2.3 Parâmetros de Desempenho

Os parâmetros de desempenho utilizados para análise do conjunto de dados de teste: erro quadrático médio, coeficiente de determinação e desempenho, apresentaram os valores médios de 2,35, 0,97 e 91% respectivamente;

6.3.2.4 Importância Relativa das Variáveis de Entrada

Observou-se que o tipo de seção transversal, seguido pelos valores de rampa, tráfego, tipo de solo clima e presença de dispositivos de drenagem representam, em ordem crescente, a importância relativa de cada variável na previsão dos defeitos para este estudo. Os percentuais calculados foram 32,6%, 23,0%, 21,0%, 9,9%, 8,6% e 5,0% respectivamente para os atributos considerados.

6.3.3 QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE APLICAÇÃO

a) constatou-se que a Interface de Aplicação do MÉTODO, desenvolvida no *Microsoft Excel 2000*, simulou fielmente o comportamento da Rede Neural Artificial treinada, obtendo desempenho de 91%;

b) a Interface de Aplicação é dotada de um recurso de apresentação de níveis de prioridade que se baseia na ordenação das variáveis de saída (defeitos). O recurso informa ao usuário, em ordem decrescente de níveis, sobre quais unidades amostrais (trechos) devem incidir primeiramente as ações de intervenção de manutenção.

c) ressalte-se que esta interface pode ser atualizada desde que os valores correspondentes ao *bias* e aos pesos sejam substituídos.

6.4 RESTRIÇÕES AO MÉTODO

A aplicação do MÉTODO nas estradas de terra do município de Aquiraz/CE permitiu a previsão dos defeitos considerados no capítulo dois (poeira, segregação de agregados, ondulações, erosão, areião, buracos, afundamento de trilhas de roda, seção transversal inadequada e atoleiro), a partir dos atributos selecionados: tráfego, drenagem, clima, tipo de seção transversal, tipo de solo e valores de rampa.

Convém destacar a carência de dados referentes à área de infra-estrutura de estradas não-pavimentadas, tanto em relação às vias, quanto a estudos de caso desenvolvidos no Brasil. Isto se constituiu em um fator decisivo quanto ao tempo de desenvolvimento desta dissertação que decorreu para o levantamento dos dados para a posterior aplicação da técnica das Redes Neurais Artificiais.

Outra restrição para aplicação do MÉTODO é a necessidade da execução eficiente dos procedimentos descritos no capítulo quatro, com vistas à correta adaptação das particularidades de outras regiões aonde o MÉTODO venha a ser aplicado.

O modelo de RNA eleito pode ser aplicável a trechos de outras regiões bastando, para tanto, que se proceda à coleta de dados pertinente à área sob exame, a seleção dos atributos de acordo com as particularidades locais bem como se ponderem as

adequações implementadas aos métodos de identificação/avaliação de defeitos e de classificação dos níveis de severidade dos defeitos.

O modelo treinado reage bem às situações adversas desde que o conjunto de dados seja suficientemente numeroso de modo que resulte exitosa a generalização do "conhecimento" adquirido pela Rede Neural Artificial validada.

6.5 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento da pesquisa sensibilizou a autora primeiro quanto às vastas possibilidades de aplicação da técnica das RNA na área de infra-estrutura de transporte e em seguida para que a presente dissertação de mestrado, longe de esgotar a investigação acerca do problema tomado como objeto, resultou num esforço de prospecção no tema para o qual não se pode prescindir da continuidade de maiores investimentos e dedicação às pesquisas.

Com apoio nestas premissas considera-se recomendável a montagem e o refinamento de uma base de dados atinente à área de infra-estrutura de transportes, consistente e regionalizada, que sirva às novas experiências que requeiram a utilização da técnica das RNA.

Sobressaem-se como sugestões decorrentes deste estudo: a utilização de outros simuladores de RNA, de outras espécies de RNA com a adequação dos recursos disponíveis às especificidades do problema de campo que se tomar como foco, em busca de cada vez melhores resultados bem como a verificação de diversas outras estruturas de RNA, à vista das inesgotáveis possibilidades, ao encontro da arquitetura mais conveniente para o tratamento do problema tomado como objeto.

Reconhece-se utilitário, conveniente e oportuno, o aperfeiçoamento do MÉTODO e do banco de dados interno ao mesmo com derivação e extensão para abrangência não só dos defeitos mas também da seleção das atividades de manutenção com a indicativa consideração de fatores como tempo e custo, cuja serventia a um programa de manutenção preventiva se apresenta evidente.

As constatações decorrentes do MÉTODO tendem a enriquecer as experiências com uso de RNA efetuadas na área de infraestrutura de transportes, já bem sucedidas,

bem como motivar as pesquisas no campo de investigação científica correlato além de indicarem que é possível o desenvolvimento de ferramentas ágeis e de fácil manuseio para uso prático, que também sejam flexíveis e adaptáveis às outras aplicações na área de transportes, tornando o uso das Redes Neurais Artificiais mais efetivo.

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio da aplicação MÉTODO demonstraram que o modelo de Rede Neural Artificial eleito, quando submetido a uma situação real, isto é, mediante valores de entrada não previamente conhecidos por ele, apresentou um erro quadrático médio de 2,35, coeficiente de determinação médio (r^2) de 0,97 e um desempenho de 91%, o que supera os índices mínimos referidos na literatura especializada ratificando a viabilidade da RNA para reconhecimentos de padrões de defeitos e severidades em estradas de terra.

A despeito das restrições descritas, a racionalização do processo de coleta de dados (típica do Primeiro Procedimento Experimental) aliada à disponibilidade da Interface de Aplicação (ANEXO) favorece o uso do MÉTODO por usuários não especializados; o que condiz com a aplicabilidade do MÉTODO pelos poderes públicos municipais brasileiros.

Sob o ponto de vista da viabilidade econômica da aplicação do MÉTODO considera-se a relação custo/benefício francamente favorável à implementação do mesmo, de uma parte por conta dos benefícios que o MÉTODO confere ao sistema de gerências de vias, em especial à atividade de manutenção e em seguida pela relativa acessibilidade de todos os procedimentos experimentais: levantamentos, coletas de dados, ensaios laboratoriais, aquisição e operação do simulador de RNA e Interface de Aplicação, cujos custos são compatíveis com a realidade orçamentária dos municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFELOR, R. M. e S. McNEIL (1989) Method for Determining Optimal Blading Frequency of Unpaved Roads. *Transportation Research Record,* n. 1252, p. 21-32.

AUSTROADS (1987) *A Guide to the Visual Assessment of Pavement Condition.* Report, , A4, 76p., AP-8/87. Sydney

BARAT, J. (2002) O Custo da Ineficiência Brasileira. *Revista Problemas Brasileiros*. N. 351.

BRAGA, A. P. e A P. L. F. CARVALHO e T. B. LUDEMIR (1998) Fundamentos de Redes Neurais Artificiais. *11.ª Escola de Computação – Universidade Federal do Rio de Janeiro* (UFRJ). Rio de Janeiro.

BRAGA, A P. e A P. L. F. CARVALHO e T.B. LUDEMIR (2000) *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. Ed. LTC, Rio de Janeiro.

BRANDÃO, R. L. (1998) *Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza.* CPRM. 88p. Fortaleza, Ceará.

BREGA, J. R. F. (1996) A Utilização de Redes Neurais Artificiais em um Sistema de Gerência de Pavimentos. Tese Doutorado. *Escola de Engenharia de São Carlos*. São Paulo.

BRONDINO, N. C. M. (1999) Estudo da Influência da Acessibilidade na Valorização de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais. 141p. Tese Doutorado – *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo.

CAIXETA, J. V. e R. S. MARTINS (1998) O Desenvolvimento dos sistemas de Transporte: Auge, Abandono e Reativação Recente das Ferrovias. *RevistaTeoria e Evidência Econômica.* v. 6. n. 11. p. 69-91. Passo Fundo, RS.

CAMPOS, V. (2003) Na Contramão do Desenvolvimento. Revista Distribuição.

CARRAZZA, R. A. (1998) *Curso de Direito Constitucional Tributário*. 2 ed. Malheiros Editores, São Paulo.

CARVALHO, L. D. V. de (1992) Avaliação da Viabilidade da Melhoria do Projeto Geométrico e da Conservação das Estradas de Terra. 85p. Dissertação Mestrado - *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo.

CASSA, J. C. S. e E. D. CUNHA NETO, (1996) Previsão de Propriedades de Materiais de Pavimentação através de Redes Neurais Artificiais. *Anais da 30.ª Reunião Anual de Pavimentação,* p. 2041-2064, Salvador, BA.

COLARES, J. Q. S. (1996) Mapeamento Geotécnico Preliminar da Região Metropolitana de Fortaleza-CE. 181p. Dissertação Mestrado. *Universidade Estadual Paulista*, Rio Claro, São Paulo.

COUTINHO NETO, B. (2000) Redes Neurais Artificiais com o Procedimento para Retroanálise de Pavimentos Flexíveis. Dissertação Mestrado. *Escola de Engenharia de São Carlos*, São Paulo.

DARONCHO, C. (2001) Contribuição à Análise de Qualidade de Viagem e suas Relações com a Distribuição de Defeitos em Segmentos de Rodovias. 57p. Dissertação Mestrado. *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER (1987) *Manual Básico de Estradas Vicinais*. São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER (1981) *Conservação de Estradas Não-pavimentadas*.Rio de Janeiro.

DOUGHERTHY, M. (1995) A Review of Neural Networks Applied to Transport. *Transportation Research Part C,* v.3, n. 4, p. 247-260.

EATON, R. A. e S. GERARD e D. W. CATE. (1987a) Rating Unsurfaced Roads - A Field Manual for Mensuring Maintenance Problems. Special Report. 87-15 *U. S. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory*.

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

FLEURY, P. F. (2002) Gestão Estratégica do Transporte. *Revista Tecnologística*. N.82. São Paulo, SP.

FONTENELE, H. B. (2001) Estudo para Adaptação de um Método de Classificação de Estradas Não-pavimentadas às Condições do Município de São Carlos/SP. Dissertação Mestrado. *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo.

FURTADO, A N. D. (1998) Uma Nova Abordagem na Avaliação de Projetos de Transportes: O Uso de Redes Neurais Artificiais como Técnica para Avaliar e Ordenar Alternativas. Tese Doutorado – *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo.

FWA, T. e W. T. CHAN (1993) Priority rating of highway maintenance needs by neural networks. *Journal of Transportation Engineering of the ASCE*, v. 119, n. 3, p. 419-432.

HAAS, R. e W. R. HUDSON e J. ZANIEWSKY (1994) *Modern Pavement Management*. Publishing Company, 583p.

HAYKIN, S. (1994) *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. IEEE Press, Toronto.

HAYKIN, S. (1999) *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall. 2nd edition. Toronto.

HAYKIN, S. (2001) Redes Neurais: Princípios e Prática. 2 ed. Trad. Paulo Martins Engel. Ed. BooKman. Porto Alegre. RS.

HEADQUARTERS DEPARTAMENT OF THE ARMY (1982) *Pavement Maintenance Management.* Technical Manual 5-623. Washington, DC.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2001). *Anuário Estatístico do Brasil.*

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO ESTADO CEARÁ - IPLANCE (2001). *Anuário Estatístico do Ceará*.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO ESTADO CEARÁ - IPLANCE (2003). In:www.ipece.ce.gov.br

LOESCH, C. e S. T. SARI, (1996) *Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Modelos*. Ed. FURB, Blumenau, SC.

MARIOTONI, M. (1987) Rodovias Vicinais: Conceituação e Importância. Dissertação Mestrado. *Escola Politécnica*. Universidade de São Paulo, São Paulo.

McCULLOCH, W. S. e W. Pitts, (1943) A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, n. 5, p. 115–133.

ODA, S. (1995) Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não-pavimentadas. Dissertação Mestrado - *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. São Paulo.

RAIA JR., A. A. (2000) Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação Geográfica. Tese Doutorado – *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. São Paulo.

RIANI, F. (1997) *Economia do Setor Público: Uma Abordagem Introdutória*. 3ed. Ed. Atlas, São Paulo.

ROBERTS, P. e R. ROBINSON (1983) Need to Set Priorities for Road Maintenance in Developing Countries. *Transportation Research Record*, n. 898, p. 347-354.

RODGHER, S. F. (2002) Aplicação das Redes Neurais Artificiais para Previsão de Propriedades dos Solos Tropicais. Tese Doutorado - *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. São Paulo.

RODGHER, S. F. e G. T. P. FABBRI, A. C. P. L. CARVALHO, (1997) 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.

RODGHER, S. F. e S. ODA, (1997) 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.

RODGHER, S. F. e S. ODA e J. L. FERNANDES JUNIOR e G. T. P. FABBRI e M. H. A. SORIA (1998) Uso de Redes Neurais Artificiais na Seleção de Atividades de Manutenção e Reabilitação de Estradas Não-pavimentadas. *XII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET. Anais.* v. 1, p. 183-196, Fortaleza.

RODRIGUES, F. A.(2002) Localização e Reconhecimento de Placas de Sinalização Utilizando um Mecanismo de Atenção Visual e Redes Neurais Artificiais. Dissertação Mestrado. *Universidade Federal de Campina Grande,* PB.

ROLT, J. (1995) Low-Volume Roads: Problems, Need and Impacts. *Transportation Research Circular,* n. 446, p. 25-26.

SANTOS, A. R. e E. L. PASTORE e F. AUGUSTO JR. e M. A. CUNHA (1988) *Estradas Vicinais de Terra. Manual Técnico para Conservação e Recuperação*. 2 ed, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

SCHLIESSLER, A. S. e A. BULL (1994) *Caminhos - Um Novo Paradigma para a Gestão e Conservação das Redes Viárias*. Instituto Panamericano de Carreteras Brasil, São Paulo.

TAFNER, M. A. e M. XEREZ e L. W. R. FILHO, (1996) *Redes Neurais Artificiais: Introdução e Princípios de Neurocomputação*. Ed. EKO, FURB, Blumenau, SC.

TUBB, N. R. (1993) A Development Path to Sucess in Neural Computing. In: *Expert Systems Applications*. v.9, n.5, pp. 5-9.

VIVIANI, E. (1998) A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais não-pavimentadas. Tese Doutorado. *Escola de Engenharia de São Carlos*, Universidade de São Paulo. São Paulo.

WOSTENHOLME, S. (2001) Easy NN Plus. Neural planner software. In http://www.easynn.com.

ANEXO

ANEXO

A INTERFACE DE APLICAÇÃO

Neste anexo, será apresentada a interface de demonstração desenvolvida no *software* MICROSOFT EXCEL 2000 que exibe resultados-saídas (defeitos) correspondentes às entradas (atributos) de cada trecho da via em exame.

A interface objetiva promover o uso mais efetivo das Redes Neurais Artificiais como ferramenta de previsão de defeitos em estradas não-pavimentadas, auxiliando assim o processo decisório na manutenção das estradas e do sistema de gerência respectivo.

Os campos a serem preenchidos pelo usuário estão dispostos da seguinte maneira: identificação da unidade amostral que se quer avaliar, denominada na interface como *Trecho (n.º)* e *Nome*, situados no canto superior esquerdo e, logo abaixo, dispostos em coluna estão os campos a serem preenchidos com os dados de entrada (atributos do trecho). Na seção direita da planilha, situam-se os campos que serão preenchidos automaticamente na medida da alimentação das entradas com: os defeitos previstos pelo modelo de RNA treinado e um índice de priorização dos trechos ou unidades amostrais que mais necessitam de intervenção.

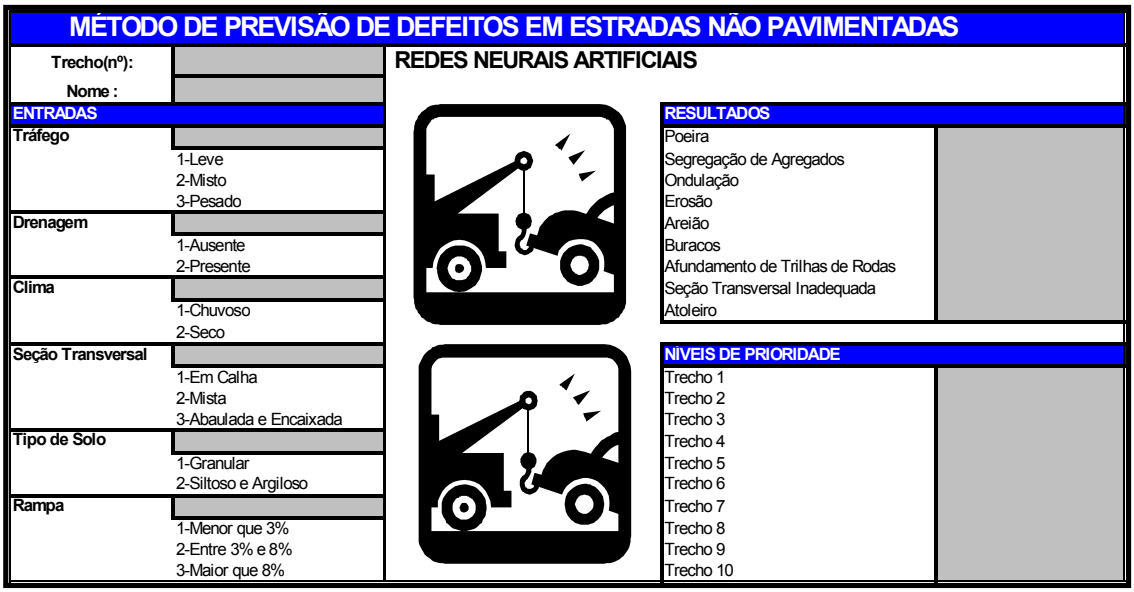

Figura 1: Exemplo da planilha, antes de qualquer preenchimento

Segue-se uma breve descrição do funcionamento da interface de demonstração desenvolvida para este estudo:

Preenchem-se os dados de entrada nos campos correspondentes em consonância com os critérios descritos no capítulo quatro. São eles:

a) tráfego: classificado em três categorias: 1, 2 e 3; leve, misto e pesado, respectivamente, conforme as percentagens de veículos pesados que operam nas estradas em estudo;

b) drenagem: classificado em dois níveis: ausente ou presente; representados pelos números 1 e 2, respectivamente;

c) clima: classificado em duas classes: chuva ou sol, representados pelos números 1 e 2, respectivamente;

d) secção transversal: classificada em: calha, mista e encaixada ou abaulada e encaixada, representadas pelos números 1, 2 e 3, respectivamente;

e) tipos de solo: abrangidos por duas grandes classes: solos granulares, os quais possuem comportamento geral como subleito de excelente a bom, representado pelo número 1; e solos argilosos e siltosos, com comportamento de regular a mau, representado pelo número 2;

f) rampa: classificada em três tipos: valores menores que 3, entre 3 e 8 (incluídos), e valores maiores que 8, representados pelos números 1, 2 e 3, respectivamente.

Após a alimentação das entradas, a interface mostrará automaticamente as variáveis de saída (defeitos com seus respectivos graus de severidade), assim como um índice de *priorização*.

Vale ressaltar que a interface prioriza dez trechos por vez, após a apresentação dos dez trechos, recomeça-se o processo com mais dez trechos e assim por diante. O maior índice refletirá o trecho ou unidade amostral com maior necessidade de intervenção.

A figura 2 apresenta a tela principal da Interface de Aplicação totalmente preenchida. Observa-se que há diferentes saídas para cada trecho caracterizado e, conseqüentemente, níveis de prioridade diversificados.

MÉTODO DE PREVISÃO DE DEFEITOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

Trecho(nº):	10
Nome :	AQUIRAZ

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

ENTRADAS	
Tráfego	2
	1-Leve
	2-Misto
	3-Pesado
Drenagem	1
	1-Ausente
	2-Presente
Clima	1
	1-Chuvoso
	2-Seco
Seção Transversal	1
	1-Em Calha
	2-Mista
	3-Abaulada e Encaixada
Tipo de Solo	2
	1-Granular
	2-Siltoso e Argiloso
Rampa	1
	1-Menor que 3%
	2-Entre 3% e 8%
	3-Maior que 8%

RESULTADOS	
Poeira	Sem o Defeito
Segregação de Agregados	Alta
Ondulação	Sem o Defeito
Erosão	Baixa e Alta
Areião	Sem o Defeito
Buracos	Baixa e Alta
Afundamento de Trilhas de Rodas	Baixa e Alta
Seção Transversal Inadequada	Alta
Atoleiro	Alta

NÍVEIS DE PRIORIDADE	
Trecho 1	0,0030
Trecho 2	0,0040
Trecho 3	0,0051
Trecho 4	0,0001
Trecho 5	0,1720
Trecho 6	0,0542
Trecho 7	0,0010
Trecho 8	0,0042
Trecho 9	0,0778
Trecho 10	0,0012

Figura 2: Exemplo da Interface de Aplicação preenchida