

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO
GEOMÉTRICA
DAS PATOLOGIAS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS:
APLICAÇÃO AO CASO DO MUNICÍPIO DE AQUIRAZ**

Flávio Eduardo Batista Moreira

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

ORIENTADOR:
Prof^o DSc. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Fortaleza
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, FLÁVIO EDUARDO BATISTA

Um Modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Aplicação ao Caso do Município de Aquiraz. Fortaleza, 2003.

XXI, 176 fl., 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
3. Estradas Não Pavimentadas

2. Sistema de Gerência de Pavimentos
4. Método ALYNOMO

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, F. E. B. (2003). Algumas Considerações Sobre Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Estudo De Caso no Município de Aquiraz. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 176 fl.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Flávio Eduardo Batista Moreira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Um Modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Aplicação ao Caso do Município de Aquiraz.

Mestre / 2003

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Flávio Eduardo Batista Moreira

Conjunto Geraldo Palmeiras, Quadra 30, N. ° 02 – Bairro: Centro
67.040–330 – Ananindeua / PA – Brasil

UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO GEOMÉTRICA
DAS PATOLOGIAS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS:
APLICAÇÃO AO CASO DO MUNICÍPIO DE AQUIRAZ

Flávio Eduardo Batista Moreira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES (PETRAN), DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC), COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS (MSc.) EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovado por:

Prof^o Ernesto Ferreira Nobre Júnior, DSc.
(Orientador – UFC)

Prof^o João Bosco Furtado Arruda, PhD.
(Examinador Interno – UFC)

Prof^o David de Carvalho, DSc.
(Examinador Externo – UNICAMP)

FORTALEZA, CE – BRASIL
SETEMBRO DE 2003

Insista,
Persista,
Nunca desista,
Pois confiando em Jesus Cristo,
Você conquista.
(Adaptado de Autor Desconhecido)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Francisco e Leonice, aos meus irmãos, aos tios João Sales e Socorro, e principalmente à minha amada esposa Elzeni e ao fruto de nosso infinito amor, nosso filho Pedro Eduardo, pelo amor, apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo de bom colocado em minha vida. E por permitir que fossem lançadas pedras ao meu caminho com o intuito de fazer-me tropeçar mas, com o seu auxílio divino, estas mesmas pedras serviram e servirão juntamente com novas pedras que por ventura sejam lançadas, para a construção da escada de meu sucesso pessoal.

Ao meu pai, Francisco José Sales Moreira que, de forma brilhante e até sacrificante, auxilia-me desde o meu nascimento, procurando dar-me o que de melhor poderia oferecer para a formação de meu caráter e personalidade, tendo como exemplo mais recente a coleta dos dados de campo para este trabalho de mestrado, tanto na forma presencial quanto cedendo todos equipamentos topográficos necessários para que os levantamentos pudessem ser executados.

A minha mãe, Leonice Batista Moreira que, desde o meu nascimento, fortemente incentivou a minha ida para a escola na infância. Teve participação extremamente importante na formação de minha personalidade e caráter e nos momentos de fraqueza que a vida nos impõe, como toda mãe, soube como amparar o filho e reerguê-lo novamente para a batalha da vida.

Aos meus tios João Sales Moreira e Maria Socorro de Mesquita Sales pelo apoio dado em todos os momentos de minha estadia em Fortaleza.

Ao meu irmão, Francisco Erivelton Batista Moreira, pela participação na coleta de dados topográficos em campo.

Ao Prof^o Ernesto Ferreira Nobre Júnior, meu especial agradecimento pela excelente orientação, contínuo incentivo, apoio, amizade e ensinamentos que, sem dúvida, foram fundamentais para o sucesso desta dissertação e de nossas pesquisas.

Aos meus amigos que incondicionalmente acreditaram, apoiaram e constituíram parcela importante na equipe de pesquisa de campo, de sol a sol, no município de Aquiraz: Eng^o MSc. José Alysson Benício Correia, Eng^o José Expedito Brandão Filho e Ricardo Venescau de Oliveira Almeida. Todos excelentes amigos e profissionais que

dedicaram dias, sob sol e chuva, enfrentando as adversidades da coleta de dados em campo, sem os quais este trabalho dificilmente teria sido concluído.

Ao Prof^o Walter Martins Ferreira Filho, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA, meus sinceros agradecimentos pela confiança e apoio, que possibilitaram o levantamento topográfico da pesquisa ao ceder os equipamentos necessários (Estação Total Eletrônica e Conjunto GPS Diferencial); defendendo o ideal de que os recursos da Universidade existem para dar suporte aos docentes e discentes em suas pesquisas e não para ficarem restritos a uma pequena parcela de usuários.

Ao Prof^o João Bosco Furtado Arruda, por seus relevantes ensinamentos e conselhos, ferramentas que uso sempre, e sua sincera amizade.

À Prof^a Suelly Helena de Araújo Barroso, pelo incentivo aos trabalhos de dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes.

Ao Prof^o Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho, pela amizade, troca de conhecimentos e apoio logístico em tecnologias que muito me auxiliaram.

À Eng^a Tércia Valfrídia Lima Nunes, pela participação nas pesquisas de campo.

Ao Eng^o Robert Xavier de Lima, pela colaboração na coleta de dados em campo.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pelo apoio financeiro através de Bolsa de Mestrado, com vigência de 27 meses, que me foi concedido de março de 2001 a junho de 2003.

Aos docentes, discentes e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes – DET e do Núcleo de Pesquisas em Logística, Transportes e Desenvolvimento – NUPELTD, que em ambiente salutar e de companheirismo, acreditaram no sucesso deste trabalho.

À Sra. Ivone Sales Aleixo, secretária do Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN, que com seu importante auxílio desde a minha entrada no PETRAN até a entrega da documentação requerendo o diploma de mestrado, abrandou em muito todas as dificuldades por mim encontradas durante minha jornada.

Ao Eng.º Enéas Villar Etrusco, amigo fraternal que tenho profunda admiração, tanto sob a ótica profissional, como por exemplo sua capacidade técnica imensurável para resolver problemas de engenharia, quanto na ótica de valores pessoais, onde é importante ressaltar a incorruptibilidade de seu caráter e personalidade.

À meu filho primogênito, Pedro Eduardo Alves Moreira, que desde a sua geração no interior do ventre de minha esposa, motivou-me a concluir este trabalho de mestrado. E que a cada demonstração de novos gestos por ele aprendidos e respectivos sorrisos dados, como que querendo dizer; “Papai, olha o que eu aprendi hoje!”, esta situação renovava-me constantemente de forças para enfrentar a vida, e buscar de todas as formas dar-lhe o melhor de mim.

E agradecer principalmente a minha amada esposa, mulher que pedi a Deus para viver em matrimônio eterno, cujos principais atributos são: beleza interior e exterior, companheirismo, sinceridade, cumplicidade, animosidade, coragem, fidelidade, amiga de todas as horas e principalmente pelo amor fiel e verdadeiro que sente por mim. Sua participação na conclusão deste trabalho foi importantíssima.

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

UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO GEOMÉTRICA
DAS PATOLOGIAS EM VIAS NÃO PAVIMENTADAS:
APLICAÇÃO AO CASO DO MUNICÍPIO DE AQUIRAZ

Flávio Eduardo Batista Moreira

Setembro / 2003

Orientador: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Esta dissertação de mestrado trata de um estudo sobre a influência do intemperismo (chuva, vento, etc), tráfego, tipo de solo e relevo na queda da serventia, devido à evolução dos defeitos em vias não pavimentadas. Procurou-se aprimorar a metodologia de avaliação das condições de superfície proposta por CORREIA (2003), denominada método ALYNO. Escolheu-se o município de Aquiraz como estudo de caso da dissertação de mestrado, devido às suas características, sociais, econômicas, de malha rodoviária não pavimentada e a pequena distância à Fortaleza. Desenvolveu-se, através de levantamentos topográficos de campo um modelo matemático para a modelagem de previsão de desempenho para as vias não pavimentadas, o que resultou no método modificado intitulado ALYNOMO. Considerações a respeito da evolução geométrica dos defeitos que prejudicam a serventia do trecho estudado são feitas neste trabalho. Os principais métodos de avaliação das condições da superfície de rolamento para estradas não pavimentadas são também discutidos. Esta pesquisa vem contribuir para a melhoria da metodologia de avaliação que consubstanciou o método ALYNO, propondo um modelo de previsão de desempenho quanto à serventia de estradas não pavimentadas. É importante ressaltar a necessidade da manutenção racional desse tipo de via para o desenvolvimento, tanto econômico quanto social, dos municípios.

Palavras-Chaves: Rodovias Não Pavimentadas; Modelagem de Avaliação de Desempenho; Tomada de Decisão; Sistemas Viários, Gerência de Pavimentos.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN / UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (MSc.) in Transportation Engineering.

EVALUATION MODEL OF THE GEOMETRICAL EVOLUTION ON UNPAVED
ROADS' PATOLOGY: CASE APPLICATION OF THE COUNTY DISTRICT OF
AQUIRAZ, CEARÁ, BRAZIL

Flávio Eduardo Batista Moreira

September / 2003

Advisor: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

This Thesis focuses on intemperate weather influence (rain, wind, etc.), traffic, soil type and relief in the reduction of unpaved road level of service. It treats on the evolution of distress presents in unpaved roads. It intends to improve the performance evaluation methodology for surface conditions, proposed by CORREIA (2003), the ALYNO Method. It was chosen the county district of Aquiraz, Ceará, Brazil, as a case study in the development of this thesis, because of its social and economical characteristics, its road network and the small distance to Fortaleza city. It was developed a mathematical model to forecast performance evaluation model using topographical survey of unpaved roads, which resulted in the modified method entitled ALYNOMO. Main performance evaluation methods of surface conditions for unpaved roads are also studied. From the case study, several considerations are made on the geometric evolution of the distress according to usefulness of the studied branch. This research contributes for the improvement of the unpaved performance evaluation process and the ALYNO Method, proposing a model to forecast the performance for regular and appropriate unpaved roads. It is important to emphasize the need of the rational maintenance of this kind of road.

Word-keys: Unpaved Roads; Evaluation Modeling of Performance; Socket of Decision; Roads Systems, Management Pavement.

SUMÁRIO

RESUMO		ix
ABSTRACT		x
LISTA DE TABELAS		xv
LISTA DE FIGURAS		xvi
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES		xiv
CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	1
1.1.	APRESENTAÇÃO	1
1.2.	PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.3.	OBJETIVOS	5
1.4.	METODOLOGIA EMPREGADA NA PESQUISA	5
1.5.	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 2	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	8
2.1.	INTRODUÇÃO	8
2.2.	DEFINIÇÕES BÁSICAS	9
2.3.	NÍVEIS DE GERÊNCIA	11
2.3.1.	SGP em Nível de Rede	12
2.3.2.	SGP em Nível de Projeto	17
2.4.	CUSTOS E BENEFÍCIOS DE UM SGP	18
2.5.	A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	19
CAPÍTULO 3	ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	21
3.1.	INTRODUÇÃO	21
3.2.	CARACTERÍSTICAS DAS ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	22

3.3.	DEFEITOS ENCONTRADOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	25
3.3.1.	Tipos de Defeitos	26
3.4.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	37
CAPÍTULO 4	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	38
4.1.	INTRODUÇÃO	38
4.2.	ÍNDICE DE CONDIÇÕES DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	39
4.3.	CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS POR VISSER AND HUDSON (1983) PARA SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	40
4.4.	AVALIAÇÃO SUBJETIVA PROPOSTA POR RIVERSON (1987)	41
4.5.	AVALIAÇÃO OBJETIVA PROPOSTA PELO SISTEMA GRAVEL-PASER	44
4.6.	AVALIAÇÃO OBJETIVA PROPOSTA POR EATON (1992)	45
4.7.	MÉTODO ADOTADO NA PESQUISA - ALYNOMO	46
CAPÍTULO 5	ESTUDO DE CASO: O MUNICÍPIO DE AQUIRAZ	52
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
5.1.1.	Apresentação	52
5.1.2.	Posicionamento Geográfico	52
5.1.3.	Urbanização do Município	54
5.1.4.	Economia da Região	54
5.1.5.	Aspectos Econômicos	54
5.1.6.	Aspectos Fisiográficos	56
5.1.7.	Recursos Hídricos	59
5.1.8.	Informações Climatológicas	60
5.1.9.	Sistema Viário do Município	61

5.2.	INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDO	62
5.2.1.	Introdução	62
5.2.2.	Retirada das Amostras	63
5.2.3.	Ensaio de Análise Granulométrica	65
5.2.4.	Ensaio dos Limites de Consistência (Limites de Atterberg)	71
5.3.	ESTUDOS TOPOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO	78
5.3.1.	Introdução	78
5.3.2.	Representação	79
5.3.3.	Divisão da Topografia	80
5.3.4.	Erros em Topografia	82
5.3.5.	Grandezas Medidas em um Levantamento Topográfico	83
5.3.6.	Medidas de Distâncias	85
5.3.7.	Medidas Eletrônicas de Distâncias	89
5.3.8.	Medidas Angulares	94
5.3.9.	Métodos de Levantamentos Plani-Altimétricos	102
5.3.10.	Levantamento por Interseção	103
5.3.11.	Levantamento por Caminhamento	104
5.3.12.	Levantamento por Irradiação	104
5.3.13.	Processamento dos Dados da Pesquisa	105
5.3.14.	Cálculo de Poligonal Fechada com Pontos Irrradiados	108
5.3.15.	Modelagem Digital do Terreno - MDT	109
5.3.16.	As Técnicas de Aquisição de Dados	111
5.3.17.	Estação Total e Cadernetas Eletrônicas	112
5.3.18.	Implementação e Interface Visual do MDT	113
5.3.19.	Geração das Curvas de Nível a Partir do MDT	114
5.3.20.	Avaliação das Áreas de Figuras Planas	115
5.4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO	117
5.4.1.	Introdução	117

5.4.2.	A Pluviometria Incidente e o Tráfego Atuante na Área de Estudo	118
5.4.3.	O Levantamento Topográfico	118
5.4.4.	O Levantamento Geotécnico	121
5.4.5.	As Zonas Topográficas (ZT's)	122
5.4.6.	Modelagem de Desempenho	122
5.4.7.	Análise das Equações de Desempenho em Função dos Valores de Rampa Longitudinal, do Tipo de Material e da Eficiência dos Equipamentos de Drenagem	123
5.5.	CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO	137
5.5.1.	Levantamento Topográfico	137
5.5.2.	Levantamento Geotécnico	138
5.5.3.	Os Coeficientes das Equações de Desempenho	139
5.5.4.	A Influência da Presença de Drenagem no Processo de Deterioração	139
5.5.5.	A Influência dos Valores de Rampa Longitudinal no Processo de Deterioração	140
5.5.6.	A Influência do Tipo de Material Geotécnico no Processo de Deterioração	140
5.5.7.	A Influência no Processo de Deterioração Quando da Invasão da Vegetação Lindeira no Corpo Estradal	141
5.5.8.	A Influência da Precipitação Pluviométrica no Processo de Deterioração	141
5.5.9.	A Influência do Tipo de Manutenção Realizada Pelo Órgão Responsável nas Vias Não Pavimentadas no Processo de Deterioração	142
CAPÍTULO 6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	143
6.1.	CONCLUSÕES RELEVANTES	143
6.2.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	144
6.3.	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	145

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146	
GLOSSÁRIO	153	
ANEXOS	154	
ANEXO 1	EXEMPLO DE CADERNETA TOPOGRÁFICA	155
ANEXO 2	EXEMPLO DE POLIGONAL LEVANTADA	158
ANEXO 3	EXEMPLO DE CADERNETA DE COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS	160
ANEXO 4	EXEMPLO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DO MDT, MDD E DAS CURVAS DE NÍVEL DO TERRENO E CÁLCULO DE ÁREA (MÉTODO DE GAUSS)	163
ANEXO 5	EXEMPLO DE ESTAQUEAMENTO DAS ZONAS GEOTÉCNICAS (ZG`s) E ZONAS TOPOGRÁFICAS (ZT`s)	166
ANEXO 6	EXEMPLO DA PLANILHA DE CÁLCULO DO MODELO DE PREVISÃO DE DESEMPENHO (MÉTODO ALYNOMO)	169
ANEXO 7	EXEMPLOS DE GRÁFICOS DA MODELAGEM DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DAS ZONAS TOPOGRÁFICAS	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.	Níveis de Severidade para Buracos	29
Tabela 4.1.	Descrição das Condições de Estradas Não Pavimentadas de Acordo com a Ocorrência e Especificação dos Defeitos	43
Tabela 4.2.	Classificação dos Trechos Estudados de Acordo com o URCI	45
Tabela 4.3.	Classificação para o Índice de Condição por Zona Topográfica (ICZT)	49
Tabela 4.4.	Classificação para o Índice de Serventia por Zona Topográfica (ISZT)	49
Tabela 5.1.	Divisão Político-Administrativa	53
Tabela 5.2.	Unidades Geomorfológicas e Classes de Solos	59
Tabela 5.3.	Determinação do Peso da Amostra Seca ao Ar	68
Tabela 5.4.	Limites de Consistência	71
Tabela 5.5.	Precisão dos Diastímetros	87
Tabela 5.6.	Relações entre o Ângulo Zenital e o Vertical	99
Tabela 5.7.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 01	126
Tabela 5.8.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 02	126
Tabela 5.9.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 03	128
Tabela 5.10.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 04	130
Tabela 5.11.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 05	135
Tabela 5.12.	Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 06	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Atividades de um SGP Baseado na Divisão Clássica	12
Figura 2.2.	Condições x Custos de Manutenção x Tempo	19
Figura 3.1.	Vista de uma Estrada Não Pavimentada no Município de Aquiraz	22
Figura 3.2.	Vista de um Trecho de Estrada Não Pavimentada no Período de Seca	23
Figura 3.3.	Vista do Mesmo Trecho da Figura 4.2, Porém no Período de Inverno	24
Figura 3.4.	Ocorrência de Areiões	28
Figura 3.5.	Ocorrência de Buracos ou Panelas	29
Figura 3.6.	Ocorrência de Corrugações ou “Costelas de Vaca”	30
Figura 3.7.	Ocorrência de Erosão, que Atravessa a Estrada	31
Figura 3.8.	Ocorrência de Perda de Agregados com Formação Lateral e Central de Bermas	32
Figura 3.9.	Ocorrência de “Nuvem de Poeira” Após a Passagem de um Veículo	33
Figura 3.10.	Ocorrência de Greide “Encaixado” – Seção Transversal Inadequada	34
Figura 3.11.	Ocorrência de Trilhas de Roda em Greide “Encaixado”	35
Figura 3.12.	Ocorrência de Empoçamento de Água na Borda da Estrada	36
Figura 4.1.	Fluxograma do Método ALYNOMO	51
Figura 5.1.	Mapa Político do Município de Aquiraz	53
Figura 5.2.	Esboço Geomorfológico da RMF	57
Figura 5.3.	Principais Tipos de Solos Encontrados na RMF	58
Figura 5.4.	Potencial de Escoamento Superficial	60
Figura 5.5.	Chuva Média nas Estações Aquiraz e Açude Riachão	61

Figura 5.6.	Aparelho de Casagrande para a Determinação do Limite de Liquidez	74
Figura 5.7.	Superfície Topográfica e Planta Topográfica	80
Figura 5.8.	Relação Entre Ângulos Zenitais e Verticais	84
Figura 5.9.	Tipos de Distâncias	85
Figura 5.10.	Exemplo de Falta de Horizontalidade do Diastímetro	88
Figura 5.11.	Exemplo da Falta de Verticalidade da Baliza	88
Figura 5.12.	Exemplo de um Teodolito Eletrônico com uma Trena Eletrônica Acoplada	90
Figura 5.13.	Exemplo de um Distanciômetro Eletrônico	91
Figura 5.14.	Exemplo de Bastão, Prisma e Tripé de Bastão	91
Figura 5.15.	Estação Total Utilizada na Pesquisa	92
Figura 5.16.	Exemplo de Erro de Pontaria	93
Figura 5.17.	Poligonal Fechada com Ângulos Horizontais Internos Medidos	95
Figura 5.18.	Poligonal Fechada com Ângulos Horizontais Externos Medidos	96
Figura 5.19.	Deflexões Medidas nos Vértices de uma Poligonal Fechada	97
Figura 5.20.	Deflexões Medidas nos Vértices de uma Poligonal Girando o Aparelho	98
Figura 5.21.	Esquema Gráfico de Azimutes	102
Figura 5.22.	Levantamento por Interseção	103
Figura 5.23.	Levantamento por Irradiação	105
Figura 5.24.	Fluxograma de Aquisição de Dados	112
Figura 5.25.	Triangulação dos Pontos Irradiados	113
Figura 5.26.	Vista 3D da Representatividade das Curvas de Nível	115
Figura 5.27.	Cálculo de Área por Coordenadas	116

Figura 5.28.	Esboço da Localização das Poligonais e Zonas Geotécnicas	120
Figura 5.29.	Vista de Seção Transversal Inadequada (Seção “Encaixada”)	125
Figura 5.30.	Fotografia Tirada Logo Depois da Chuva, na ZT - 10	127
Figura 5.31.	Escoamento Longitudinal da Água Devido à Invasão do Corpo Estradal pela Vegetação Lindeira	129
Figura 5.32.	Empoçamento de Água Devido a Densificação da Vegetação e ao Tipo de Material Geotécnico que Contém Fração Argilosa	131
Figura 5.33.	Erosão Causada pelo Escoamento Longitudinal da Água	132
Figura 5.34.	Erosão na Trilha de Roda Causada pela Ação do Escoamento da Água	133
Figura 5.35.	Erosão de “Pé do Corte” da Seção “Encaixada”	134
Figura 5.36.	Formação de “Piscinas” no Leito Estradal	135
Figura 5.37.	Seção Transversal Inadequada (Seção “Encaixada”)	137

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AASHTO	<i>Association of State Highway and Transportation Officials.</i>
APWA	<i>American Public Works Association.</i>
ASCII	<i>American National Standard Code for Information Interchange.</i>
CAD	<i>Computer Assisted Drafting.</i>
CERL	Mesmo que <i>USACERL – U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory.</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model.</i> Mesmo que MDT.
DET	Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará.
EESC/USP	Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FHWA	<i>Federal Highway Administration.</i>
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes.
GPS	<i>Global Position System.</i>
HDM-III	<i>Highway Design and Maintenance Standards Model.</i>
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IC	Índice de Condições (de superfícies de rolamento).
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
IPLANCE	Fundação Instituto de Pesquisa e Informação do Ceará.

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
IRI	<i>International Roughness Index.</i>
IST	Índice de Serventia Relativa por Trecho
MDT	Modelo Digital de Terreno.
MR&R	Manutenção, Reabilitação e Reconstrução (atividades de).
NUPELTD	Núcleo de Pesquisas em Logística, Transportes e Desenvolvimento da Universidade Federal do Ceará.
PETTRAN	Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará.
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos. Do original em inglês: <i>PMS – Pavement Management System.</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará.
URCI	<i>Unpaved Road Condition Index.</i>
USACE	<i>U. S. Army Corps of Engineers.</i>
USACRREL	<i>U. S. Army Cold Regions Research & Engineering Laboratory.</i>
VMD	Volume Médio Diário (do tráfego de veículos).
WisDOT	<i>Wisconsin Department of Transport.</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

HAAS *et al.* (1997) alertam para o fato de que os sistemas de transportes não duram por si só para sempre: é devido à falta de atenção com as estradas, pavimentadas ou não, que, nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a precariedade e a ineficiência dos sistemas de transportes representam o maior obstáculo para o seu desenvolvimento. Afinal, sem um sistema de transporte que se ajuste às características locais e regionais, haverá um aumento no custo de transporte e conseqüentemente, os produtos agrícolas e industriais tornar-se-ão mais caros, fazendo-os pouco atrativos aos mercados consumidores.

As vias terrestres, de uma forma geral, correspondem à infra-estrutura que permite o fluxo das riquezas do país, onde o modo rodoviário ainda é o principal meio de escoamento de cargas. Sendo, portanto, imprescindível para uma conservação e manutenção tecnicamente viável e economicamente exequível, a existência de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) que possa minimizar custos e maximizar benefícios, em face dos recursos disponíveis para os governos serem, em geral, inferiores àqueles necessários para a manutenção, conservação, construção e até para a onerosa reconstrução de estradas.

A estrada não pavimentada, objeto desta pesquisa, surge geralmente a partir de trilhas ou caminhos ligando fazendas, ou fazenda a lugarejos, seguindo na sua conformação vertical as curvas naturais do terreno que, com o decorrer do tempo e o aumento do volume de tráfego, evoluem para uma geometria transversal e longitudinal melhor definida. Estradas com estas características necessitam de um programa contínuo de manutenção, para que possam garantir uma adequada funcionalidade, com segurança e qualidade para seus usuários durante o ano inteiro.

Vale ressaltar que, embora a realidade orçamentária de muitos municípios seja precária, o abandono destas estradas inevitavelmente acarretará custos bem mais

elevados quando forem realizadas reabilitações, necessárias à melhoria de sua funcionalidade, principalmente porque o processo de degradação de uma estrada cresce exponencialmente com o tempo, e conseqüentemente, com os recursos necessários para a sua reabilitação. Observe-se que os custos operacionais com o sistema de transportes são ampliados, desnecessariamente, em função da ausência de uma política de manutenção e reabilitação, ou mesmo, da inadequação da política adotada pelas prefeituras. Como conseqüência, observa-se o repasse dos custos agregados aos produtos que por elas escoam, em virtude da ausência de um sistema de manutenção adequado, fator que alimenta o chamado Custo Brasil.

No que se refere à manutenção da malha viária, seja esta pavimentada ou não, os recursos para manter a superfície de rolamento a um nível de conforto e segurança adequados, muitas vezes não são suficientes ou não se encontram disponíveis.

Atualmente, a maioria das opções de soluções aplicadas é utilizada de forma paliativa e sem um planejamento adequado. Cabe ao engenheiro apontar técnicas adequadas e como utilizá-las de modo a não provocarem impactos nos orçamentos dos governos e que as decisões relativas à manutenção, recuperação e reconstrução de estradas sejam as mais adequadas possíveis.

Até bem pouco tempo, esse processo de decisão tinha como base, tradicionalmente, a experiência local, bastante positiva, porém de preferências subjetivas. Estas soluções não levavam em conta o aspecto do registro documental, considerando simplesmente a experiência do técnico que, em muitas oportunidades, era postergada pela influência política. Esses tipos de soluções só funcionam sem problemas quando não há restrições de recursos financeiros para investimentos.

Como a tendência atual é a insuficiência de recursos, todas as decisões seguem na direção de se criar procedimentos racionalizados, dentro da necessidade e dos recursos disponíveis, direcionando-os para estudos, manutenção, reabilitação e/ou reconstrução, de acordo com uma lista de prioridades elencadas pelo tomador de decisão, disponível no SGP e estabelecidas pela equipe de gerência de infra-estruturas.

Sobre o estabelecimento de um SGP, pode-se fazer referência ao documento da FHWA (1989), agência norte-americana que administra estradas e que o define como:

“Um conjunto de instrumentos ou métodos que permitem aos responsáveis pela tomada de decisão de encontrar alternativas efetivas para prover, avaliar e manter os pavimentos em condições aceitáveis de serviço”.

Neste contexto, de acordo com CORREIA (2003), as estradas não pavimentadas, ainda pouco pesquisadas no âmbito técnico científico, tanto nacional como internacional, representam aproximadamente 90% (noventa por cento) de toda a extensão da malha viária nacional. E mais, são elas as responsáveis diretas pelas ligações entre os meios rural e urbano, o que é de vital importância para a circulação de insumos e produtos nos pólos agropecuários.

No item que segue é apresentado o problema da pesquisa, tendo como foco a questão do desempenho das estradas não pavimentadas.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

As estradas, de uma forma geral, são bens de grande relevância para a sociedade, pois possibilitam o crescimento e o desenvolvimento de regiões em sua área de influência. Todas as estradas são infra-estruturas que necessitam de manutenção para funcionarem adequadamente, como lembra HAAS *et al.* (1997), o do progresso da sociedade humana depende da infra-estrutura física para distribuir recursos e serviços essenciais ao público.

Atualmente, já é evidente que a deterioração das estradas pavimentadas e não pavimentadas contribui para dificultar o desenvolvimento econômico e social de alguns países e regiões, tendo em vista que, no futuro, ter-se-á que substituir toda a infra-estrutura, que foi perdida por negligência, com recursos que seriam investidos em uma outra aplicação de interesse da sociedade. HAAS *et al.* (1994) ressaltam que, embora o problema não resulte só na perda de infra-estrutura, a sociedade é obrigada a desembolsar anualmente um valor entre 6% e 50% em custos adicionais, na operação de veículos. Isto ocorre devido às péssimas condições de conservação em que se encontram as superfícies de rolamento, o que força um acréscimo no consumo de combustível, manutenção dos veículos, etc. Neste sentido, segundo estatísticas do GEIPOT (1981),

tem-se registrado um aumento considerável no número de acidentes ocorridos nessas estradas indevidamente conservadas no Brasil.

As evidências demonstram que o sistema de gestão rodoviária atualmente em vigência no país é incapaz de transformar a catastrófica tendência atual. Reconhecendo as suas deficiências, os órgãos rodoviários, responsáveis por essa manutenção vêm buscando respostas aos inúmeros problemas de gerenciamento, conservação e manutenção rodoviária.

As estradas de terra, ou estradas não pavimentadas, embora muitas vezes consideradas de menor importância que as pavimentadas, necessitam igualmente de manutenção e conservação. E, nesse contexto, pode-se ainda observar que as estradas não pavimentadas compõem a grande totalidade de nossa malha viária, sendo utilizadas para o transporte de produtos, principalmente agropecuários para as plantas industriais e/ou centros de distribuição no meio rural.

Este cenário, para a maioria dos municípios cearenses, é agravado pelas diversas necessidades de manutenção, recuperação e construção com escassos recursos técnicos e financeiros, para uma malha rodoviária quase que totalmente não pavimentada. No Ceará, 90% de toda a malha rodoviária é não pavimentada, estando a maior parte sob a jurisdição dos 184 municípios, que não dispõem de um sistema de gerência de pavimentos. Esta situação, cria grandes dificuldades para o escoamento de insumos e produtos das áreas rurais e dos nossos agropólos, o que reforça e justifica a necessidade de estudos neste campo do conhecimento.

De acordo com SILVA (1994), deve ser considerada a ação conjunta de fatores relevantes à degradação das estradas não pavimentadas, tais como características geotécnicas dos solos, o tráfego e a pluviosidade. Com isso, faz-se necessário à coleta de informações que permitam relacionar a ação destas variáveis na evolução geométrica dos defeitos.

1.3 OBJETIVOS

Esta dissertação de mestrado pretende contribuir para a concepção de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para estradas não pavimentadas, através da elaboração de um método de avaliação das condições de rolamento das estradas não pavimentadas e sua aplicação ao caso do Município de Aquiraz, no Estado do Ceará. Este método inclui a geração de um banco de dados topográfico totalmente georeferenciado que retrata o histórico de degradação do trecho de pesquisa, em função das variáveis: precipitação pluviométrica, tráfego, características geotécnicas dos solos da região em estudo e cadernetas topográficas completas.

Este método permite fornecer um conjunto de informações, tanto de forma espacial-numérica como cadastral, para a análise da evolução geométrica dos defeitos, o que irá possibilitar o desenvolvimento de um modelo matemático de desempenho de vias não pavimentadas, procurando-se representar a realidade do trecho em estudo.

O modelo visa subsidiar o processo de tomada de decisão para manutenção, reabilitação ou reconstrução de estradas não pavimentadas. Ele poderá ser implantado em outras áreas, observadas as devidas adequações às características técnicas inerentes ao local de sua implementação (pluviosidade, topografia, tráfego, geotecnia, etc), o que permitirá o uso racional dos recursos disponíveis para a tomada de decisão quanto às alternativas de intervenção que melhor correspondam às necessidades locais.

1.4 METODOLOGIA EMPREGADA NA PESQUISA

Os passos para a conclusão da pesquisa deram-se como descritos a seguir:

- a) Revisão bibliográfica do estado da arte sobre o tema em estudo no Brasil e no exterior;
- b) Elaboração do modelo;
- c) Aplicação do modelo;
 - Seleção do município para desenvolvimento da pesquisa;

- Levantamento e avaliação primária de toda a malha rodoviária do município de Aquiraz;
 - Coleta de informações sociais, econômicas e geográficas do município de Aquiraz;
 - Seleção dos trechos de estudo da malha rodoviária não-pavimentada do município;
 - Levantamentos topográficos e fotográficos periódicos, com o objetivo de se localizar com exatidão milimétrica as obras de arte correntes e os defeitos encontrados nos trechos de estudo selecionados;
 - Levantamento geotécnico dos trechos em estudo;
 - Formação de um banco de dados (topográfico, geotécnico e fotográficos) sobre os trechos selecionados;
 - Avaliação e classificação dos defeitos;
 - Estudo das causas dos defeitos e possíveis correções;
- d) Aplicação do modelo matemático proposto por CORREIA (2003) nos trechos em estudo;
- e) Análise dos resultados e proposição de novos parâmetros, a serem utilizados no desenvolvimento da modelagem matemática de previsão de desempenho para um sistema de gerência de pavimentos de estradas não pavimentadas que, segundo SHAHIN (1994), é o elemento basilar da gerência de pavimentos.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A execução da pesquisa segundo a metodologia apresentada resultou no desenvolvimento desta dissertação de mestrado, cujos capítulos estão dispostos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Apresenta o trabalho, seus objetivos, metodologia empregada e sua organização;

Capítulo 2 – Apresenta relevantes informações sobre sistemas de gerência de pavimentos: significado, surgimento, composição, melhoramentos, aplicações e seu atual contexto no Brasil e no exterior. Ressaltando as considerações sobre modelagem de desempenho;

Capítulo 3 – Contém informações relevantes sobre estradas não-pavimentadas, como se originam, sua relevância, os principais defeitos encontrados e suas respectivas causas;

Capítulo 4 – Apresenta relevantes informações sobre metodologias de modelagem de desempenho de superfície em estradas não-pavimentadas. Explana ainda, sobre a metodologia de modelagem de desempenho de superfícies empregada neste estudo de mestrado;

Capítulo 5 – Caracteriza a área de estudo e sua relevância social e econômica, no caso específico o município de Aquiraz; Explana sobre a metodologia empregada nos estudos geotécnicos, para a avaliação e classificação geotécnica dos solos encontrados nos trechos em estudo; Discorre sobre a metodologia empregada nos levantamentos topográficos realizados no período e trechos de estudo; Relata e analisa os resultados encontrados pela pesquisa. Essas análises estão baseadas em características geométricas e geotécnicas dos trechos em estudo;

Capítulo 6 – Relata as principais conclusões, limitações do estudo e dá sugestões para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

2.1 INTRODUÇÃO

O sucesso e progresso da sociedade humana sempre dependeram de infra-estruturas físicas para escoar riquezas, distribuir recursos e prestar serviços essenciais à sociedade. A qualidade e eficiência destas infra-estruturas afetam a qualidade de vida, a saúde do sistema social e a sua economia. A força econômica de uma nação pode ser medida pela qualidade e eficiência de suas infra-estruturas. Podem ser citados muitos exemplos na história. Os romanos construíram um império forte através de estradas que eram trafegáveis o ano inteiro, além da construção de viadutos e aquedutos ao longo da Europa, Norte da África e o Oriente Médio para mover pessoas, bens e água.

Nos Estados Unidos e outras regiões do mundo, o histórico de seus sistemas econômico e social desenvolveu-se paralelamente às fases de sua infra-estrutura de transportes. Com isso, demandas em infra-estrutura e aumento de serviços relacionados com pessoas esperam um padrão mais alto de vida e serviços públicos. Conseqüentemente, uma infra-estrutura de transportes de qualidade e extremamente eficiente propicia um aumento na qualidade de vida para a população (HAAS *et al.*, 1997).

Um estudo desenvolvido pelo Banco Mundial (QUEIROZ, 1992) mostra uma relação muito forte entre o crescimento econômico de um país, em termos de Produto Interno Bruto (PIB) e renda per capita da população, e a infra-estrutura rodoviária. O transporte rodoviário é importante na atividade econômica, especialmente nos países em desenvolvimento, onde exerce um papel vital, na comercialização dos produtos agrícolas, promovendo acesso da população à saúde, educação e outros serviços. Atualmente, em um mundo globalizado, um bom sistema de rodovias indica um quadro economicamente eficiente e competitivo. Pois, com a qualidade e eficiência do sistema de transportes rodoviários, um país diminui gastos como, por exemplo, com o transporte de produtos, com a manutenção rodoviária, além da diminuição do tempo de transporte.

No passado, no Brasil, os pavimentos eram simplesmente mantidos e não gerenciados, havia abundância de recursos financeiros governamentais direcionados para a manutenção, recuperação e até a reconstrução de expressiva parte da infra-estrutura rodoviária. Mas a realidade econômica atual é bem diferente de outrora; hoje, há a escassez de recursos financeiros, a malha estradal é mais extensa e o seu pavimento está envelhecido. Com isso, foi necessário dar prioridade e sistematizar a determinação das necessidades de manutenção e reparos da malha.

2.2 DEFINIÇÕES BÁSICAS

Na literatura técnica, existem várias definições para um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), mas todas elas têm os mesmos princípios básicos. De acordo com estes princípios, pode-se afirmar que um Sistema de Gerência de Pavimentos é um conjunto de ferramentas ou métodos que auxiliam a tomada de decisões na escolha de estratégias otimizadas em relação às atividades de pavimentação, atividades estas que servem para manter os pavimentos em condições adequadas de serventia, facilitando a coordenação das atividades do órgão gestor responsável.

Segundo HAAS *et al.* (1994), um Sistema de Gerência de Pavimentos é um conjunto de ferramentas que auxiliam o tomador de decisão na procura da alternativa ótima para suprir a necessidade de manutenção dos pavimentos, em uma adequada condição de serventia anteriormente estabelecida, por um dado período de tempo. Ainda segundo HAAS *et al.* (1994), a função de um SGP é de promover a eficiência na tomada de decisão, expandindo alternativas, promover a retro-alimentação do sistema com os resultados das decisões tomadas, facilitar a coordenação das atividades dentro do órgão, além de assegurar a consistência das decisões tomadas nos diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização.

De acordo com USACE (1982) e SHAHIN (1994), a maioria dos pavimentos existentes atualmente necessita de manutenção e reparos, devido à ação de diversos fatores tais como a insuficiência de fundos orçamentários governamentais, tempo de ocorrência da manutenção (pois a malha a ser mantida é extensa) e a determinação racional de manutenção e reparos prioritários para a malha. Ainda segundo

USACE (1982) e SHAHIN (1994), a união desses fatores conduzem à necessidade de criar um dispositivo que forneça de forma sistemática um método para seleção de atividades de manutenção e reparos necessários, para determinar prioridades e o tempo em que essa atividade deve ocorrer, baseado em um modelo de previsão futura das condições do pavimento.

Assim, um sistema de gerência de pavimentos pode ser definido como um sistema que consiste em uma série de ferramentas para a avaliação da *performance* de condições de superfície, condições de predição e desenvolvimento de planos de trabalho com o objetivo de otimizar gastos. Este sistema determina quando, onde e qual a melhor forma de intervenção. As informações fornecidas pelo sistema devem ser claras, objetivas e atuais, de tal forma que sejam capazes de auxiliar no processo de tomada de decisão.

HAAS *et al.* (1994), ressaltam que a elaboração de um sistema gerencial exige uma análise profunda e um conhecimento completo do ambiente envolvido, isto é, da estrutura do órgão responsável pela tomada de decisão. Particularmente, no campo rodoviário, um sistema gerencial não poderá ser apenas uma construção intelectual, por mais sedutora que esta o seja. Desta forma, a implantação de um sistema gerencial deve começar necessariamente pela integração e racionalização da situação existente.

Segundo ASTM (1997), trata-se de um processo que avança por etapas, mais precisamente, por módulos, obedecendo a uma lógica global. Em resumo, não deve se adotar um “modelo” ou uma “referência” para um sistema gerencial de pavimentos deve-se desenvolver, para cada contexto o seu próprio sistema como, por exemplo, o sistema de gerência de pavimentos em estradas não pavimentadas. Ressalta-se, no entanto, que esta última posição não deve ser vista em termos extremos de originalidade; ao contrário, deve-se levar em consideração experiências positivas de outros órgãos rodoviários, desconsiderando os aspectos negativos.

O sistema de gerência de pavimentos é tradicionalmente dividido em dois grandes níveis de decisão: SGP em nível de rede e SGP em nível de projeto.

2.3 NÍVEIS DE GERÊNCIA

Um sistema de gerência de pavimentos tem por objetivo a otimização técnico-econômica do uso de recursos financeiros, de modo a proporcionar um transporte seguro, econômico e confortável de pessoas e bens. Este objetivo será atingido comparando-se diferentes alternativas de investimentos, em nível de projeto e em nível de rede, e coordenando todas as atividades intervenientes no planejamento dos investimentos (o dimensionamento, a construção, a manutenção e monitoramento periódico do seu desempenho).

Em um sistema de gerência pode-se distinguir dois níveis de decisão. Em nível de rede, procura-se definir objetivos e estratégias que permitam a sua implementação ao menor custo (ASTM, 2000). Para HAAS *et al.* (1994), a gerência em nível de rede consiste em um conjunto de considerações e atividades mais amplas que a gerência em nível de projeto, pois a mesma deve prover programas prioritários para toda uma malha ou rede rodoviária, segundo as restrições orçamentárias do órgão rodoviário responsável pela tomada de decisão.

Em nível de projeto, os objetivos são estabelecidos partindo-se daquela solução mais recomendada do ponto de vista técnico-econômico (SHAHIN, 1994). De acordo com HAAS *et al.* (1994), a este nível, as informações são mais detalhadas e as análises aprofundadas o suficiente para se definir os projetos considerando-se análises comparativas de custos e benefícios. Isto se deve ao fato da análise dedicar-se à solução de problemas individuais ou de um grupo menor de situações dentro da malha (AASHTO, 1990). A diferença fundamental entre as gerências em nível de rede e em nível de projeto está ligada com a quantidade de dados e com a profundidade da análise requerida.

Um modelo de SGP baseado na divisão clássica, em nível de rede e em nível de projeto, deve ter uma sistematização no inter-relacionamento de suas atividades, para que funcione de forma adequada. Ou seja, na análise da malha rodoviária, feita em nível de rede, identifica-se segmentos ou trechos que necessitem de manutenção e/ou reparos. Com esta identificação, são feitas análises de todas as soluções possíveis para cada caso, já em nível de projeto, pois necessita-se de avaliações e informações mais detalhadas, e que normalmente não estão disponibilizadas em nível de rede, o que pode requerer

estudos adicionais. Esses estudos são desenvolvidos com o intuito de se obter conhecimento suficiente das condições do pavimento (serventia, estruturais e/ou funcionais) e as possíveis causas de sua deterioração. Estas atividades ocorrem em um período apropriado, seguindo um planejamento pré-definido, que está esquematicamente representado na Figura 2.1.

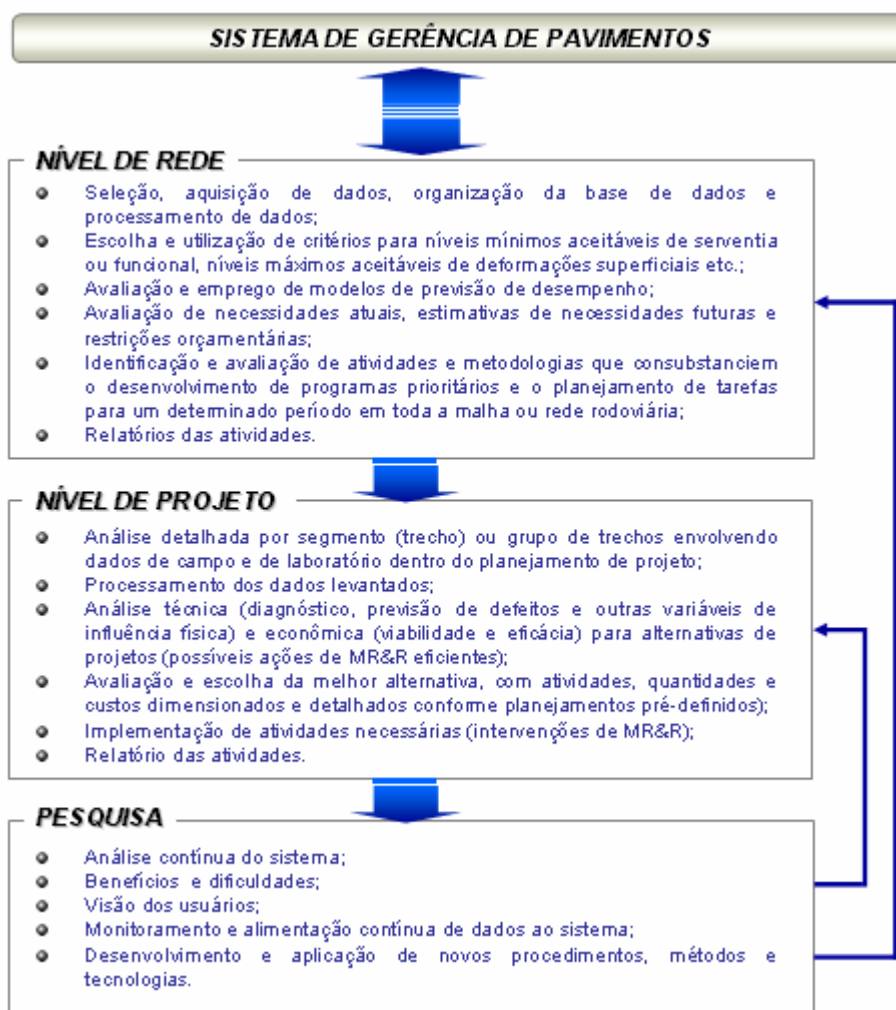


Figura 2.1: Atividades de um SGP Baseado na Divisão Clássica
Fonte: CORREIA (2003)

2.3.1 SGP em Nível de Rede

De acordo com MARCON (1996), não há um modelo padrão para a formação de um SGP, mas existem componentes que são fundamentais para um desenvolvimento adequado (AASHTO, 1990; ASTM, 2000; HAAS *et al.*, 1994; MARCON, 1996). O nível de sofisticação e de tecnologia utilizados em um SGP está diretamente

correlacionado com a disponibilidade de recursos humanos, financeiros e de equipamentos por parte do órgão gestor (MARCON, 1996). Estes componentes estão relacionados a seguir:

A) Localização Referenciada

O referenciamento e a locação de todos os tipos de estradas existentes na malha faz-se necessário pois, com isso, tem-se uma visão sistêmica de toda a rede. Segundo a ASTM (2000), os mais comuns métodos de referenciamento são: a ligação de nós da malha (referencia todas as intersecções); trechos e instalações; seção característica (seção tipo de projeto); extensão total; extensão troncal; e o georeferenciamento de toda a malha (ultimamente tem sido muito utilizado, principalmente quando se tem como base um Sistema de Informações Geográficas – SIG).

b) Coleta e Seleção de Dados

De acordo com MARCON (1996), esta é uma atividade fundamental dentro de um sistema de gerência de pavimentos, tendo como objetivo alimentar a base de dados que subsidiará todas as análises e decisões tomadas em relação à malha. Este conjunto de informações necessita de atualizações constantes e de confiabilidade das informações.

Segundo ASTM (2000) e MARCON (1996), as principais categorias de dados são:

b.1) Inventário a respeito do pavimento: extensão, área, geometria transversal e longitudinal, estrutura do pavimento, número e tipos de camadas, história da construção e reabilitação, histórico de manutenção, drenagem, funcionabilidade econômica e classificação funcional;

b.2) Características de tráfego: volume de tráfego, carregamento, classificação dos veículos que transitam na estrada e acidentes ocorridos;

b.3) Condições do pavimento: defeitos apresentados, aspereza, qualidade de rolamento, resistência à derrapagem, textura, dureza, flexibilidade, deflexões, materiais, propriedades das camadas e drenagem;

b.4) Meio ambiente: precipitação, incidência de irradiação solar, ciclo de gelo e degelo (em países localizados em zonas temperadas) e variação da temperatura do pavimento;

b.5) Custos: de construção por tipo de pavimento, atividades de reabilitação e manutenção, e custos dos usuários.

c) Gerenciamento do Banco de Dados

Com o advento da informática, o gerenciamento do banco de dados de um sistema de gerência de pavimentos tornou-se facilitado. Segundo a ASTM (2000), o uso de computadores é extremamente recomendado pois, com isso, o banco de dados de toda a rede pode ser integrado através de *softwares* de análise. Este tipo de *software* transforma as informações contidas no banco de dados em informações que assistem e/ou fornecem suporte suficiente ao processo de decisão. Com isso, *software* e *hardware* tornam mais dinâmicas as seguintes atividades:

c.1) Interface da coleta dos dados de campo com os dados armazenados no sistema;

c.2) A leitura, a retro-alimentação, manutenção, verificação, atualização e integração com outros sistemas da estrutura base do banco de dados;

c.3) Interface do banco de dados com outras rotinas de análise;

c.4) Interface com sistemas de informações geográficas, o que se faz necessário nos casos de ampliação do sistema de gerência de pavimentos.

d) Componentes da Análise

Atualmente existem vários modelos de análise que são empregados em sistemas de gerência de pavimento, o que não impede do órgão gestor desenvolver um procedimento específico para as suas necessidades de análise, no gerenciamento dos

pavimentos da malha sob sua responsabilidade (ASTM, 2000). Comumente estes modelos são incorporados ao SGP para que sejam atingidos os seguintes objetivos:

d.1) Modelos de Previsão de Desempenho: modelos matemáticos (curvas) são usados para prever a condição futura de serventia do pavimento, sendo uma ferramenta importante para se definir quando e qual alternativa de manutenção deve ser aplicada (SHAHIN, 1994). Esta pesquisa enfatiza e sugere que estes modelos sejam desenvolvidos com informações locais, para que sejam os mais confiáveis e acurados possíveis. Estas informações devem ser continuamente aferidas com base no monitoramento da rede;

d.2) Análises de custo: os dados de custos de reconstrução, reabilitação e manutenção são usados para estimar orçamentos correntes. Esses dados, com a inclusão dos custos do usuário, podem ser usados em análises do custo no ciclo de vida útil do pavimento e em análises de priorização, otimização e sobre conseqüências da estratégia de manutenção escolhida;

d.3) Priorização: os modelos de priorização são geralmente usados para gerar listas de projetos candidatos e programação de atividades. Segundo ASTM (2000), a presente condição do pavimento, taxa de deterioração, tráfego e outros critérios específicos do órgão gestor são incorporados aos algoritmos e/ou equações de priorização;

d.4) Otimização: a otimização é a análise de várias estratégias de manutenção, reabilitação e reconstrução, em nível de rede. Os objetivos a serem alcançados por essa análise são a maximização dos benefícios, minimização dos custos e maximizar a vida útil do pavimento, com base em um nível de serventia previamente estabelecido. Segundo SHAHIN (1994), os modelos de otimização comumente usam técnicas matemáticas de programação linear, programação inteira e programação dinâmica;

d.5) Análise de conseqüência: a análise de conseqüência dá ao órgão responsável pela tomada de decisão a capacidade de avaliar os impactos financeiros que a estratégia escolhida tem sobre o seu orçamento disponibilizado, em nível de rede.

e) Retro-alimentação

Estimando custos, priorizando projetos candidatos, otimizando estratégias, a performance e os dados de custos podem ser usados para avaliar técnicas de manutenção, reabilitação e projetos de reconstrução. O objetivo mais nobre da retro-alimentação do sistema de gerência de pavimentos é a calibração de projeto, procedimentos, modelos de desempenho além de outros componentes pesquisados.

f) Implementação

Para implementar um sistema de gerência de pavimentos em um órgão gestor ou uma agência responsável pela tomada de decisão de uma determinada rede rodoviária, há a necessidade de se desenvolver procedimentos do SGP em conjunto com a agência. Estes procedimentos têm que ser desenvolvidos de tal forma que se assegure a aceitabilidade do SGP por parte do quadro técnico especializado, compatibilidade com as necessidades do órgão para que o SGP se torne útil. O plano de implementação pode definir como necessários computadores, *software*, equipamentos, pessoal treinado e organização estrutural do órgão gestor. O plano pode ainda organizar a implementação do SGP de forma gradual.

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

f.1) Operação: criação de procedimentos necessários para o desenvolvimento de coleta, entrada, qualidade e acuracidade dos dados de campo bem como treinamento contínuo do quadro técnico;

f.2) Manutenção: criação de procedimentos necessários para o desenvolvimento de rotinas de atualização do banco de dados, emissão de relatórios periódicos, revisão do sistema em uma outra plataforma de trabalho, para que possa ser avaliado e calibrado, incorporando ao sistema melhorias nos modelos que subsidiam o sistema de gerência de pavimentos.

g) Saídas

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

h) Treinamento e Pesquisa

A pesquisa e o treinamento são componentes auxiliares, mas imprescindíveis a um sistema de gerência de pavimentos. Através de estudos específicos, a pesquisa procura dar respostas aos problemas técnicos, comportamento de materiais, etc. A pesquisa gera conhecimento pertinente a assuntos ligados ao SGP e, através do treinamento, há a transmissão do conhecimento, sempre procurando atingir um nível adequado de informação entre os técnicos. Com isso, há a eficácia do sistema e a comunicação entre os setores do órgão gestor com ele envolvido.

2.3.2 SGP em Nível de Projeto

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

2.4 CUSTOS E BENEFÍCIOS DE UM SGP

A agência responsável pela tomada de decisão deve analisar de forma qualitativa os custos e os benefícios da implantação de um SGP, baseando-se nas suas características de gerenciamento da malha, do sistema a ser implementado e de recursos financeiros disponíveis para a implementação e manutenção do sistema em questão (BROTEN, 1996). Ainda segundo este autor os custos de um sistema de gerencia de pavimentos estão diretamente ligados à sua implementação e manutenção.

Os benefícios advindo da implementação de um SGP no órgão gestor responsável pela tomada de decisão são muitos; a seguir, seguem alguns dos principais benefícios (CORREIA, 2003):

- a) Auxiliar o órgão responsável pela tomada de decisão;
- b) De acordo com as necessidades do órgão, o SGP fornece informações precisas para análises das condições da rede de pavimentos em vários níveis de gerenciamento (em nível de rede e em nível de projeto);
- c) Analisar, orçar e administrar recursos em vários níveis de gerenciamento, oferecendo melhores alternativas para alocação de recursos de acordo com as necessidades;
- d) Fornecimento e avaliação de várias estratégias (respostas técnicas apropriadas) de reabilitação e manutenção da malha viária.

A deterioração natural (intempéries, tipo vento, chuva, radiação solar, etc.), em conjunto com a ação do tráfego sobre o pavimento, fazem com que as condições de serventia do mesmo diminuam. Com isso, intervenções técnicas são necessárias para a manutenção das condições de serventia em patamares desejados. E, de acordo com HAAS *et al.* (1994), caso essas intervenções não ocorram, inevitavelmente ocorrerá a necessidade de reconstrução do pavimento, que é a situação mais onerosa possível conforme o esquema gráfico apresentado na Figura 2.2;

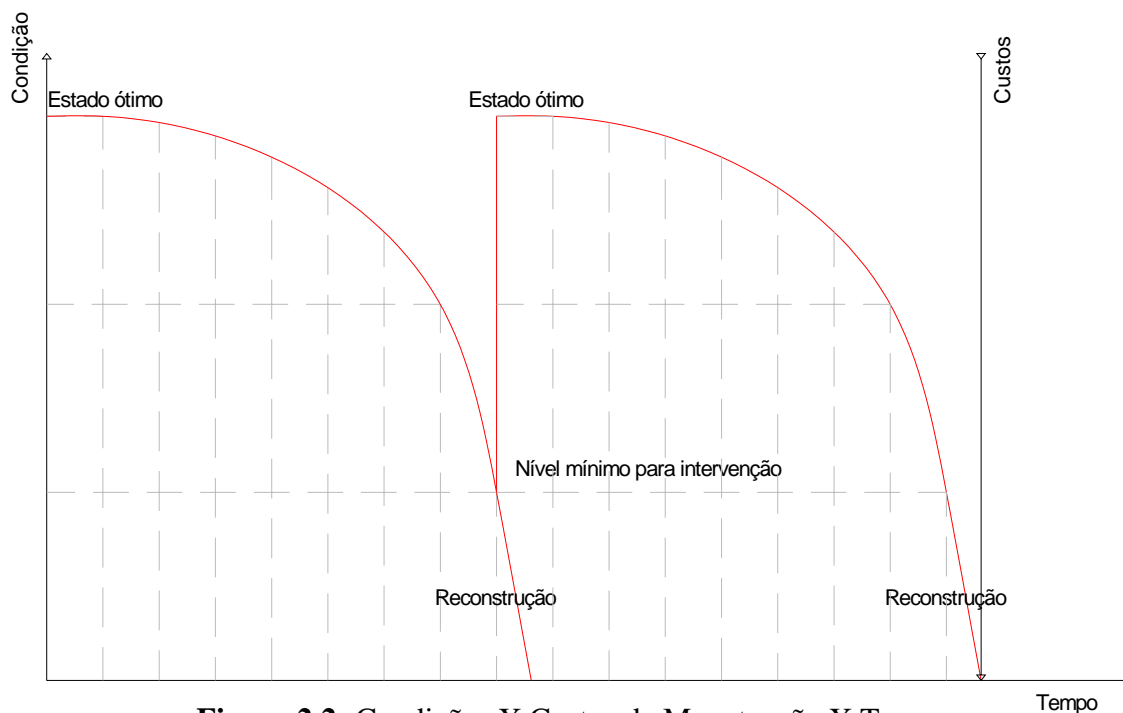


Figura 2.2: Condições X Custos de Manutenção X Tempo
Fonte: CORREIA (2003)

2.5 A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

De maneira geral, há uma grande extensão de estradas não pavimentadas em todos os países do mundo, sejam estes desenvolvidos ou em desenvolvimento. A proporção de estradas não pavimentadas varia muito de país para país. De acordo com CORREIA (2003), a proporção no Brasil da malha rodoviária não pavimentada em relação à malha rodoviária pavimentada é de aproximadamente 90%.

As estradas não pavimentadas geralmente se localizam em áreas rurais, significando um importante meio de desenvolvimento econômico e social. Essas estradas são importantes para a economia local, pois é o primeiro caminho a ser percorrido para que haja escoamento de toda a produção rural da região. Já no aspecto social, sua relevância é notória, isto porque é através destas vias que a população rural tem acesso aos centros urbanos, na busca de educação, saúde, comércio, bancos, dentre outros motivos (VIVIANI, 1998).

Essas estradas geralmente surgem a partir de trilhas ou caminhos que ligam fazendas, ou fazendas a lugarejos, fazendas ao centro da cidade, lugarejos ao centro da

cidade, atalhos que ligam estradas pavimentadas umas as outras, etc. No início seguem as curvas naturais do terreno que, com o decorrer do tempo e o aumento do volume de tráfego, evoluem para uma geometria transversal e longitudinal um pouco melhor definida, porém ainda rudimentar.

De acordo com FONTENELE (2001), estradas não pavimentadas são geralmente constituídas por solo local. Segundo RIVERSON *et al.* (1987), estradas não pavimentadas não possuem revestimentos de concreto asfáltico, cimento Portland ou qualquer tipo de tratamento superficial. Suas larguras variam muito e são modificadas de acordo com a necessidade local, com o crescimento da vegetação lindeira, cercas demarcadoras de propriedades rurais e o tipo de solo.

Com essas características físicas (padrões de traçado horizontal, greide rudimentares e tipo de solo), há apenas o tráfego proveniente do transporte de produtos, bens e pessoas da região na via, tornando-a de baixo volume de tráfego por apresentarem volume médio diário abaixo de 400 veículos (FONTELELE, 2001). Em épocas de chuva, as dificuldades de se trafegar nessas vias tornam-se cada vez maior, devido ao fato de que, na grande maioria das vezes a estrada não pavimentada, não possui quaisquer dispositivos de drenagem superficial e/ou profunda.

Porém, a principal característica das estradas não pavimentadas, de acordo com RIVERSON *et al.* (1986), é a mudança das condições superficiais de forma mais acelerada em relação às condições das estradas pavimentadas. Este ciclo tem duração média de 1 a 2 anos (EATON *et al.*, 1987), que é muito inferior ao das estradas pavimentadas que, em função do projeto, variam de 5 a 20 anos.

Estradas com estas características necessitam da implementação de sistemas de gerência, de tal forma que haja um programa contínuo de manutenção e reabilitação da malha viária. Com a implementação deste sistema, abre-se um leque de perspectivas de soluções que possam garantir uma adequada funcionalidade, com segurança e qualidade para seus usuários durante o ano inteiro, a um custo financeiro e ambiental bastante reduzido.

CAPÍTULO 3

AS ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: CARACTERÍSTICAS E DEFEITOS MAIS COMUNS

3.1 INTRODUÇÃO

Estradas de terra, estradas de terra batida ou, ainda, estradas vicinais são algumas das maneiras como as estradas não-pavimentadas são conhecidas tanto no meio técnico como pela população local. Esse tipo de estrada é geralmente enquadrado de baixo volume de tráfego (com menos de 400 veículos por dia) e, neste caso, a pavimentação não se justifica (VISSER and HUDSON, 1983). Com isso, essas estradas são geralmente constituídas por solo local (CORREIA *et al.*, 2001) e, na maioria das vezes, se originam a partir de caminhos naturais abertos pela população local com o intuito de vencer as suas necessidades de locomoção. Com o aumento de sua utilização, este caminho obtém características geométricas, tanto longitudinais como transversais, mais definidas, porém ainda primitiva, acompanhando o relevo natural existente, como pode ser visto na Figura 3.1.

A importância sócio-econômica que as estradas não pavimentadas têm para o município faz com que ele se esforce para mantê-las em um nível de serventia mínimo durante o ano todo. Esta situação dificilmente ocorre, pois os municípios, além de não possuírem recursos financeiros suficientes destinados à manutenção e reabilitação de sua malha não-pavimentada, ainda se depara com o desconhecimento técnico necessário à realização racional dessas atividades, que devem ser adaptadas para a sua realidade. A manutenção e reabilitação dessas vias quase sempre são feitas de maneira empírica por pessoas que possuem apenas a prática local para definirem a postura gerencial a ser tomada.

Geralmente essa postura gerencial se baseia em aspectos meramente políticos e eleitorais, que freqüentemente tornam as atividades de conservação (manutenção e reabilitação) em soluções de problemas localizados e de forma emergencial. Infelizmente, o cenário atual se confronta com a definição de um SGM que, por sua vez,

tem como objetivo a otimização técnica e econômica do uso de recursos financeiros, de modo a proporcionar um transporte seguro, econômico e confiável de pessoas e bens.



Figura 3.1: Vista de uma Estrada Não Pavimentada no Município de Aquiraz

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

De acordo com VIVIANE (1998), as estradas não pavimentadas, em quase toda a sua totalidade encontram-se sob jurisdição municipal. Os municípios brasileiros estão quase sempre desprovidos de um adequado sistema de gerência de pavimentos para estradas não pavimentadas. Este fato advém da escassez de recursos financeiros municipais destinados a atender toda a malha viária do município, seja esta pavimentada ou não, além da falta de mão-de-obra especializada para gerir um SGP.

Geralmente, as características geométricas das estradas não pavimentadas brasileiras não obedecem a nenhuma norma para projeto geométrico. Essas estradas simplesmente acompanham a topografia natural do terreno, principalmente no sentido longitudinal, pois no sentido transversal geralmente ocorrem melhorias no intuito de permitir a estabilidade lateral do veículo em movimento na via, evitando ele tombe. A largura das estradas não pavimentadas sofre modificações ao longo de sua extensão, o

que ocorre em função da vegetação lindeira, limites de propriedades, necessidade de mão dupla para que dois veículos possam trafegar normalmente e em sentidos opostos, falta de drenagem, dentre outros fatores.

No inverno, período de maior pluviosidade, a vegetação avança em direção ao centro da estrada diminuindo sua largura, dificultando a mobilidade dos veículos, diminuindo a sua visibilidade e aumentando o tempo de viagem, além de agravar o escoamento superficial das águas, sendo este já dificultado pela falta de dispositivos de drenagem ao longo da via. Em alguns casos, chega à interrupção total do tráfego na via, como pode ser visto na comparação de um mesmo trecho de estrada não pavimentada em diferentes épocas do ano, como mostrado nas Figuras 3.2 e Figura 3.3. Na Figura 3.2 pode-se ver o referido trecho, em período de seca, em condições de tráfego normal. Já na Figura 3.3, a situação se inverte, pois, devido principalmente à falta de drenagem, há a formação de um verdadeiro atoleiro, impedindo a passagem da maioria dos veículos motorizados (carros de passeio, camionetas, caminhões e caçambas) e em muitas vezes, tendo como consequência grave o isolamento da região em foco.



Figura 3.2: Vista de um Trecho de Estrada Não Pavimentada no Período de Seca



Figura 3.3: Vista do mesmo Trecho da Figura 3.2, Porém no Período de Inverno.

A vida útil de uma estrada não pavimentada tem duração média de apenas 1 ou 2 anos (EATON *et al.*, 1987). A ação conjunta de vários fatores dificulta a criação e implantação de um sistema de gerência para estradas não pavimentadas.

No caso do Estado do Ceará, os municípios tratam sua malha viária não pavimentada de forma artesanal e improvisada, seja do ponto de vista tecnológico, seja sob o aspecto da aplicação de mecanismos de controle administrativos e de custos. A vida útil de uma estrada não pavimentada não chega a durar um ano. Isto representa o padrão gerencial aplicado pelo setor público municipal cearense. Com isso, e embasado na afirmação de CUNHA *et al.* (1982), pode-se observar que esta forma de gerenciamento provoca vários problemas para os municípios, tais como:

- a) Aplicação de recursos sem atender a um planejamento municipal preestabelecido para o sistema de transportes;
- b) Ausência de elementos que justifiquem as solicitações de acréscimo na dotação orçamentária municipal;

- c) Impossibilidade de elaborar programa racional para melhoria da malha viária;
- d) Ausência de manutenção preventiva;
- e) Ausência de avaliação dos serviços executados;
- f) Ausência de controles eficazes de custos técnicos e administrativos;
- g) Ausência de critérios técnicos racionais para a escolha de materiais para revestimentos primários.

Com isso, não se consegue quantificar o desperdício dos já escassos recursos municipais nem a dificuldade de circulação imposta à região pela falta de uma manutenção e reabilitação regular e preventiva das estradas não pavimentadas (VIVIANE, 1998).

3.3 DEFEITOS ENCONTRADOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

A superfície de uma estrada não pavimentada está sujeito a um processo contínuo de deterioração. O estado da superfície está relacionado, diretamente, ao tipo de solo que constitui o leito carroçável, capacidade de suporte, solicitações do tráfego, condições climáticas (principalmente a chuva), presença de dispositivos de drenagem, geometria longitudinal e transversal da estrada e às atividades de manutenção e reabilitação correntemente utilizadas, (CORREIA, 2003 e ODA, 1995).

Para uma estrada não pavimentada possuir uma superfície de rolamento que esteja em boas condições de serventia, esta deve apresentar as seguintes características:

- a) Capacidade de suporte suficiente para sustentar o carregamento imposto pelo tráfego. A capacidade de suporte depende das características do material da superfície de rolamento e resistência do solo ao carregamento imposto à medida que há variação de umidade, (ODA, 1995);

- b) Um bom sistema de drenagem. Este tem a função de retirar, o mais rápido possível, a água da superfície de rolamento da estrada com o intuito de evitar a ação erosiva, em casos de relevo que apresentem desníveis acentuados, ou na situação inversa, em que o terreno apresente desníveis baixos ou nulos, fazendo com que a velocidade de escoamento se torne baixa ou até nula, propiciando o acúmulo de água que, além de delimitar a velocidade de tráfego, faz com que a capacidade de suporte diminua (CORREIA 2003; ODA, 1995).

Estas duas situações ilustram como as características geotécnicas do material, em conjunto com os perfis geométricos (longitudinais e / ou transversais da região) e o tráfego, são de grande importância para o entendimento da evolução dos vários defeitos. Observou-se que vários defeitos seriam suprimidos com uma simples correção geométrica de alguns trechos, medidas estas simples e de baixo custo que, garantiriam a qualidade das condições de serviço para o trecho afetado, mesmo estando em época de chuvas.

A ação conjunta dos elementos catalisadores da deterioração do corpo estradal supracitados, aliada a uma prática gerencial precária, tanto do ponto de vista tecnológico (que contenha atividades de manutenção e reabilitação mais adequadas às características municipais), quanto da aplicação da organização administrativa municipal, faz com que o município tenha muitos problemas. A aplicação de recursos torna-se o mais grave dentre os problemas. O município não tem, muitas vezes, um planejamento para obedecer, que venha maximizar os benefícios sociais e econômicos, devido à impossibilidade de elaborar um programa racional para melhorar sua malha viária não pavimentada. Assim, ele lança mão de uma política de execução posterior, de serviços emergenciais, nunca atuando de forma preventiva (D'ÁVILA, 1996).

3.3.1 Tipos de Defeitos

As origens dos defeitos (patologias) frequentemente encontrados em estradas não pavimentadas originam-se das inadequações ou da ausência dos dispositivos de drenagem, geometria adequada do corpo estradal e do material empregado no subleito.

Estes fatores atuam de forma associada com o carregamento imposto à via pela passagem repetitiva do tráfego e da ação dos regimes de chuva.

Neste trabalho foram considerados aqueles defeitos identificados por CORREIA (2003) na avaliação das estradas não pavimentadas, estudadas no município de Aquiraz, Estado do Ceará. Este autor verificou, a forma com que os defeitos evoluíam e estabeleceu um modelo de desempenho para as vias não pavimentadas, na sua área em estudo. Os defeitos encontrados tiveram seus graus de severidade medidos matematicamente em função do levantamento topográfico realizado.

Os defeitos considerados nesta pesquisa e observados nos trechos monitorados são adaptações de EATON *et al.* (1992), USACE (1995) e ODA (1995). As adaptações foram necessárias para que houvesse um melhor ajuste dos defeitos à realidade da área de estudo, a mesma de CORREIA (2003). As patologias consideradas foram as seguintes:

a) Areiões:

Geralmente se encontra este tipo de defeito em estradas de material arenoso e com baixa argilosidade em seu leito estradal. Este defeito se origina quando ocorre uma certa segregação em um solo seco. Este perde seus grãos de forma continuada e, com a passagem do tráfego, os grãos acabam se acumulando no centro e/ou nas laterais das estradas não pavimentadas, conforme visto na Figura 3.4. A presença deste tipo de defeito dificulta e/ou agrava o escoamento de águas pluviais, contribuindo para a formação de outros defeitos. Este defeito é medido em função de áreas delimitadas pela largura da estrada e o comprimento linear de 4 metros

a.1) Níveis de severidade:

- Baixo: Acumulo de material arenoso até 5 cm de altura;
- Médio: Acumulo de material arenoso > 5 cm e ≤ 10 cm;
- Alto: Acumulo de material arenoso superior a 10 cm.



Figura 3.4: Ocorrência de Areiões.

b) Buracos:

Buracos ou panelas, outra forma como esta patologia também é conhecida. Os buracos são depressões da superfície estradal, geralmente em forma de panelas. Eles normalmente surgem em superfícies com deficiências para escoamento de águas, ou seja, ineficiência ou falta dos dispositivos de drenagem superficial, às vezes por falta de uma formação geométrica transversal melhor definida para que haja o escoamento transversal das águas pluviais. Para este tipo de defeito, a fim de se conhecer a quantidade de material perdida, deve-se medir o diâmetro médio do buraco e sua profundidade. Estas medidas são obtidas com muita facilidade e de forma precisa através do levantamento topográfico, no qual há o cadastramento topográfico de todos os tipos de defeitos do trecho. Na ausência deste tipo de levantamento, os parâmetros de medida adotados por EATON *et al.* (1992) e USACE (1995) podem ser empregados. Um exemplo deste tipo de defeito pode ser visto na Figura 3.5.

b.1) Níveis de severidade: estes podem ser obtidos pela observação das medidas dos defeitos obtidas no levantamento topográfico e comparadas com os dados da Tabela 3.1. apresentada a seguir:

Tabela 3.1: Níveis de Severidade para Buracos

Profundidade (cm)	Diâmetro Médio			
	< 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	> 90 cm
< 5	Baixo	Baixo	Médio	Médio
5 – 10	Baixo	Médio	Alto	Alto
> 10	Médio	Alto	Alto	Alto

Fonte: CORREIA (2003)



Figura 3.5: Ocorrência de Buracos ou Panelas.

c) Corrugações:

Também são conhecidas por “costelas de vaca”; caracterizam-se pela presença de ondulações perpendiculares ao sentido do tráfego, sendo resultado de um movimento vibratório transmitido pelo tráfego à superfície de rolamento, conforme visto na Figura 3.6. Tal movimento se deve à vibração dos motores e

ao choque dos pneus do veículo sobre o solo, dentre outros. A distribuição das ondulações se dá, respectivamente, de forma regular ou irregular. É importante ressaltar que algumas das corrugações regulares ocorrem pela manutenção inadequada do trecho, com o uso de motoniveladora, quando da raspagem da superfície deteriorada de rolamento. Esta atividade é praticada, rotineiramente, pelas prefeituras. As corrugações são medidas em função de áreas delimitadas, medindo-se a largura da estrada e o comprimento linear de 4 metros.



Figura 3.6: Ocorrência de Corrugações ou “Costelas de Vaca”.

d) Erosão:

A erosão é causada pela ação conjunta da água em solos coesivos com a ausência e/ou ineficiência dos dispositivos de drenagem, conforme Figura 3.7. Este defeito pode evoluir de pequenas falhas em forma de sulcos na superfície estradal até fendas, ou grandes sulcos, com profundidades superiores a 60 cm e larguras maiores que 30 cm. Para este tipo de defeito, a classificação sugerida por ODA (1995) é perfeitamente aplicável.

d.1) Níveis de severidade, segundo ODA (1995):

Baixo: sulcos com profundidades < 20 cm e larguras < 10 cm;

Médio: sulcos com profundidades entre 20 cm e 60 cm largura entre 10 cm e 30 cm;

Alto: sulcos com profundidades > 60 cm e largura > 30 cm.



Figura 3.7: Ocorrência de Erosão, que Atravessa a Estrada.

e) Perda de Agregados:

Este defeito é ocasionado pela ação contínua e abrasiva do tráfego, onde os materiais granulares acabam por se desagregar sob a tração dos pneus e estes são lançados para as bordas, para o centro do corpo estradal ou na área menos trafegável, sendo esta paralela ao eixo da estrada, formando bermas, como pode ser visto na Figura 3.8. Os níveis de severidade deste defeito são bem definidos em EATON *et al.* (1992) e USACE (1995). Cada berma deve ser medida separadamente em função de áreas delimitadas pela largura da estrada e o comprimento linear de 4 metros.

e.1) Níveis de severidade:

Baixo: formação de bermas com alturas inferiores a 5 cm;

Médio: formação de bermas com alturas entre 5 cm e 10 cm;
Alto: formação de bermas com alturas superiores a 10 cm.



Figura 3.8: Ocorrência de Perda de Agregados com Formação Lateral e Central de Bermas.

f) Poeira:

Este tipo de defeito é muito comum em estradas não pavimentadas. Onde geralmente ocorre a presença de materiais finos, soltos na superfície de rolamento e que, em épocas secas formam devido à ação do tráfego “nuvens de pó” ou “nuvens de poeira”, conforme mostrada na Figura 3.9. Este defeito tem como principal causa a ação abrasiva do tráfego, que faz com que as partículas de solos aglutinantes se soltem da superfície da estrada. Essas “nuvens de poeira” além de dificultar a visibilidade, também contribuem para o aumento do custo operacional dos veículos, obrigando constantes limpezas de motor, filtros de ar, etc. Os níveis de severidade para este defeito são, em alguns casos, obtidos por medidas visuais e subjetivas (EATON *et al.*, 1992; USACE, 1995). Estes

autores propõem procedimentos para medir os níveis de severidade para este tipo de defeito, embora nesta pesquisa não se tenha encontrado grandes benefícios no método exposto.



Figura 3.9: Ocorrência de “Nuvem de Poeira” Após a Passagem de um Veículo.

g) Seção Transversal Inadequada:

Este tipo de defeito se caracteriza pela inadequação do perfil geométrico transversal do corpo estradal. Este perfil não é adequado para o escoamento de águas pluviais, impossibilitando a inserção de quaisquer dispositivos de drenagem de forma geométrica. Por consequência, há uma contribuição para o surgimento e/ou agravamento de outros tipos de defeitos. Este tipo de defeito caracteriza-se pelo “encaixamento” do greide da estrada, como pode ser visto na Figura 3.10. Em períodos de chuva intensa, trechos de estradas não-pavimentadas que apresentam este tipo de defeito, chegam a ficar intransitáveis. Isto ocorre devido ao fato de que a água proveniente da chuva não tem para onde escoar, utilizando o leito carroçável e formando verdadeiras “hidrovias”.



Figura 3.10: Ocorrência de Greide “Encaixado” – Seção Transversal Inadequada.

h) Trilhas de Rodas:

Este defeito é caracterizado pela deformação permanente da superfície de rolamento nas trilhas dos pneus dos veículos, conforme pode ser visto na Figura 3.11. Esta deformação é resultado de cargas repetidas de tráfego e pode ocorrer em qualquer camada da estrada ou do subleito. Nas estradas não-pavimentadas este defeito possui maior incidência quando o subleito tem capacidade de suporte baixa e, em período de chuvas, onde a drenagem é inadequada ou insuficiente.

Pode-se observar que, nas trilhas de roda que apresentam profundidade maior, as trilhas atuam como poças e impedem o escoamento natural da água para fora da pista, ocasionando problemas de drenagem que aceleram a deterioração do leito estradal e podem, inclusive, propiciar o aparecimento de outros tipos de defeito. A profundidade das trilhas varia com o tempo, o tipo de material do subleito e

com a passagem contínua do tráfego, além da chuva. A qualidade de rolamento diminui até tornar a estrada intransitável.

h.1) Níveis de severidade:

Baixo: Afundamentos com até 5 cm de profundidade;

Médio: Afundamentos com profundidades > 5cm e menor ou igual a 10 cm;

Alto: Afundamentos com profundidades superiores a 10 cm.



Figura 3.11: Ocorrência de Trilhas de Roda em Greide “Encaixado”

i) Drenagem Lateral Inadequada:

Este defeito é verificado quando as valetas laterais estão cobertas de vegetação lindeira, cheias de entulhos e, até mesmo, com material granular (assoreado). Essa situação dificulta o escoamento da água e, conseqüentemente, provoca o seu empocamento, erodindo a borda da estrada que tangencia a borda de dentro da valeta de

drenagem (ver Figura 3.12). A classificação dos níveis de severidade deste tipo de defeito feita por EATON *et al.* (1992) e USACE (1995) podem ser aplicáveis neste.

i.1) Níveis de severidade:

Baixo: Pequena quantidade de água empossada nas valetas ou assoreamento de até 33% da seção de escoamento da valeta. Sem evidências de erosão;

Médio: Quantidade moderada de água empoçada nas valetas ou assoreamento de até 66% da seção de escoamento da valeta. Neste caso há pequenas evidências de erosão da borda da estrada;

Alto: Grande quantidade de água empoçada nas valetas ou com a seção de escoamento totalmente assoreada. Com isso, a erosão da borda da estrada já é visível e cada vez maior, tendo como consequência a diminuição da largura da estrada (Figura 3.12).



Figura 3.12: Ocorrência de Empoçamento de Água na Borda da Estrada

3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente capítulo apresentou uma caracterização sucinta das estradas não pavimentadas, ressaltando-se os problemas mais comuns nelas encontradas e baseou-se nos parâmetros de severidade, utilizados no estudo realizado por CORREIA (2003). Estes parâmetros subsidiam o modelo de previsão de desempenho desenvolvido por este trabalho de mestrado.

CAPÍTULO 4

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

4.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de gerência de pavimentos visam principalmente fazer uso mais eficaz dos já escassos recursos financeiros, estes destinados à manutenção da malha viária. Segundo VIVIANE (1998), estes sistemas geralmente requerem uma avaliação objetiva das condições da via e uma escala numérica de avaliação para ser usada no SGP. Esta avaliação pode ser feita através da observação dos defeitos apresentados na superfície estradal. Estes defeitos criam irregularidades na superfície de rolamento, provocando desconforto, que varia de acordo com o nível de severidade. Em conseqüência disso, há diminuição na velocidade de operação, aumento do custo operacional dos veículos além de provocar situações perigosas à segurança dos usuários da via.

Para o desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos há a necessidade de que diversas etapas sejam atendidas. Primeiramente, faz-se necessário ter um inventário com as condições atuais da via e de acordo com as necessidades do órgão gestor. Este inventário, normalmente feito dividindo-se o trecho em segmentos que apresentem condições (solicitações de tráfego, pluviosidade, geotecnia e topografia do trecho) semelhantes. Feito isso, tem-se, como segundo passo, o estabelecimento de prioridades para as melhorias baseadas nas condições da via e a sua importância sócio-econômica local.

Neste quadro, várias pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de criar métodos mais eficientes para classificar as condições da superfície estradal. Esses métodos dividem-se em subjetivos e objetivos, tendo os últimos alcançado uma aceitação maior por parte dos órgãos gestores responsáveis pela tomada de decisão, devido ao fato de trabalharem com o cálculo de índices de condições (IC) da superfície

de rolamento. Dentre os métodos subjetivos, há destaque para o proposto por RIVERSON *et al.* (1987). Dentre os métodos objetivos desenvolvidos para sistemas de gerência em estradas não pavimentadas, pode-se destacar o desenvolvido por EATON *et al.* (1987), adotado e transformado em manual técnico pelo *U. S. Army Corps of Engineers* – USACE (EATON *et al.* 1992; USACE, 1995) e o sistema *Gravel-PASER*, desenvolvido pela Universidade de Wiscosin (VIVIANE, 1998).

No método adotado pelo *U. S. Army Corps of Engineers*, o índice de condição da superfície de rolamento é o *Unsurfaced Road Condition Index* (URCI). Este índice é obtido através do cálculo dos valores de dedução de acordo com o grau de severidade dos defeitos apresentados no trecho estudado. Já o sistema *Gravel-PASER* utiliza um método visual para avaliar e classificar, de forma simplificada, a condição da superfície de rolamento da estrada. Além disso, o sistema apresenta os problemas mais comuns nas estradas não pavimentadas e seus respectivos reparos típicos (VIVIANE, 1998).

Porém, há um sério problema relacionado aos métodos que avaliam e classificam as estradas não-pavimentadas, seus procedimentos de manutenção e reabilitação. Normalmente esses métodos e procedimentos são desenvolvidos baseados no conhecimento e características inerentes ao local de aplicação. Com isso, a simples transferência e aplicação direta de métodos e procedimentos desta natureza, em ambientes que apresentam ocorrências distintas de materiais, pluviosidade, tráfego, topografia da região, dentre outros fatores, torna-se muito difícil (VISSER and HUDSON, 1983; ODA, 1995).

4.2 ÍNDICE DE CONDIÇÕES DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

O índice de condição (IC), para estradas não pavimentadas, normalmente é um valor que varia em uma escala numérica pré-determinada. Este índice fornece ao tomador de decisão uma idéia geral a respeito da condição da superfície de rolamento estudada, tendo como consequência a priorização de atividades de manutenção e reabilitação para os trechos que apresentarem maiores índices de deterioração. Variam de acordo com a metodologia empregada, o tipo de material apresentado na superfície estudada, o tráfego, relevo topográfico, pluviosidade, etc.

4.3 CONTRIBUIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS POR VISSER AND HUDSON (1983) PARA SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Em meados dos anos 80, estudos realizados na África do Sul por VISSER and HUDSON (1983) foram uma importante contribuição para a evolução de sistemas de gerência de estradas não pavimentadas, principalmente para a sua avaliação. Tais estudos consideravam a ocorrência de materiais, suas propriedades geotécnicas e o clima (estação seca e estação chuvosa). Tais propriedades foram associadas às solicitações provenientes do tráfego local além de considerar a influência da presença dos dispositivos de drenagem. O resultado destes estudos foi a criação de um sistema de manutenção e projeto para estradas não pavimentadas, conhecido como *Maintenance and Design System for Unpaved Roads* (MDS).

O MDS é um sistema de aplicação simples. A não aplicabilidade deste sistema a algumas áreas, como a área de estudo utilizada no presente trabalho, deve-se ao fato de que o MDS baseia-se na hipótese de que os dispositivos de drenagem estão presentes e suas condições de drenagem são boas. A aplicação do MDS em regiões do Brasil pode ser bem restrita ou até mesmo impossibilitada, devido a alguns aspectos negativos realçados por D'ÁVILA (1996), que são:

- a) É restrita a superfície rodoviária;
- b) Foi desenvolvido para materiais e condições climáticas diferentes das existentes no Brasil;
- c) Propõe modelos de deterioração de aplicação generalizada, utilizando-se de parâmetros (limites de Atterberg) inadequados para a caracterização de solos tropicais;
- d) Os modelos de deterioração propostos não consideraram, para o seu desenvolvimento, o aspecto geométrico da plataforma, variável que influencia na drenagem, na passagem dos veículos e, conseqüentemente, no processo de deterioração do pavimento.

A respeito da avaliação de desempenho verificada para estradas não-pavimentadas, VISSER and HUDSON (1983) informam quatro tipos diferentes de deterioração que estão diretamente ligadas às solicitações impostas pelo tráfego:

- a) Deterioração da superfície de rolamento durante a estação seca: há o desgaste e abrasão da superfície de rolamento, com perda de material e formação de pó. De acordo com a passagem do tráfego, há o desgaste e o enfraquecimento da superfície onde o material não possui coesão o suficiente, causando a movimentação de material e contribuindo para a formação de diversos tipos de defeitos;
- b) Deterioração das camadas boas da superfície de rolamento na estação chuvosa: nos trechos onde a resistência ao cisalhamento da superfície de rolamento é maior do que os esforços produzidos pela ação do tráfego. O único defeito que se evidencia é a deterioração superficial;
- c) Deterioração das camadas pobres da superfície de rolamento na estação chuvosa: nos trechos onde a resistência ao cisalhamento da superfície de rolamento é menor do que os esforços produzidos pela ação do tráfego. Com estas condições, após a passagem de um determinado número de veículos há o rompimento desta camada, tornando o trecho intransitável;
- d) Deterioração do leito rodoviário pobre durante a estação chuvosa: neste caso, faz-se necessário um processo de melhoramento das características geotécnicas do solo, através da colocação de um solo melhor, ou adicionando-se componentes químicos (cal hidratada e/ou cimento Portland) ao solo *in situ*;

4.4 AVALIAÇÃO SUBJETIVA PROPOSTA POR RIVERSON (1987)

RIVERSON *et al.* (1987) desenvolveram um método subjetivo para classificar as condições de superfície de rolamento de estradas não pavimentadas. Este método baseia-se no conforto e segurança que a estrada não pavimentada pode proporcionar aos seus usuários que a trafegam a uma velocidade constante pré-estabelecida. A

classificação das estradas é baseada na variação de velocidade, que reflete na qualidade de viagem. Ou seja, quanto maior for a densidade de defeitos na superfície, maiores serão as mudanças na velocidade, e maior a variação de velocidade de operação, conseqüentemente, menor a qualidade de viagem.

Este método permite ainda verificar quais as patologias mais comuns em estradas não pavimentadas e quais as atividades de manutenção que podem ser selecionadas e aplicadas. As avaliações das condições da superfície de rolamento deste método ocorrem com a atribuição de valores em uma escala numérica de 0 a 5, conforme o nível de severidade de cada defeito (ver Tabela 4.1). Por se tratar de um método de avaliação subjetivo, os resultados variam de acordo com o avaliador, o tipo de veículo utilizado e as condições ambientais.

Com relação às condicionantes climáticas, pode-se ressaltar que alguns defeitos são mais evidenciados em períodos chuvosos (como, por exemplo, drenagem inadequada, seção transversal inadequada com o greide encaixado, dentre outros), enquanto outros tipos de defeitos se relacionam mais com a estação seca (como, por exemplo, a presença de material fino solto na superfície, ocasionando uma nuvem de poeira pela ação do tráfego). A presença de pó é um tipo de defeito comumente encontrado nas estradas não pavimentadas em período seco. Este defeito causa a redução da visibilidade e da velocidade de operação, dificultando o tráfego e, conseqüentemente, a diminuição da segurança dos usuários e da população local, além de contribuir para o aumento dos custos operacionais dos veículos.

Tabela 4.1: Descrição das Condições de Estradas Não Pavimentadas de Acordo com a Ocorrência e Especificação dos Defeitos

DEFEITO	VALOR	NÍVEL	ESPECIFICAÇÃO
Condições de Rolamento	5	Muito Ruim	Viagem com alto nível de desconforto, necessitando de grandes mudanças de velocidade; Velocidade de operação dos veículos baixa (cerca de 20 km/h).
	4	Ruim	Viagem desconfortável com velocidade máxima de 30 km/h.
	3	Regular	Viagem qualitativamente média com velocidade máxima de 40 km/h.
	2	Bom	Viagem com velocidade máxima de operação de até 50 km/h.
	1	Muito Bom	Viagem confortável com velocidade de 60 km/h sem nenhuma redução de velocidade.
Corrugações	5	Muito Ruim	Ocorrência de corrugações com mais de 5 cm de profundidade; Viagem de qualidade baixa.
	4	Ruim	Ocorrência de corrugações com profundidades entre 3,5 cm e 5 cm; Viagem com qualidade variando de baixa à média.
	3	Regular	Ocorrência de corrugações com cerca de 2,5 cm de profundidade; Viagem com qualidade regular.
	2	Bom	Ocorrência de pequenas corrugações (cerca de 1,5 cm de profundidade); Viagem de qualidade boa.
	1	Muito Bom	Não são percebidas ocorrências de corrugações; A viagem se dá em condições muito boas.
Trilhas de Rodas	5	Muito Ruim	Ocorrência de trilhas de rodas com profundidades médias maiores ou igual a 5 cm.
	4	Ruim	Ocorrência de trilhas de rodas com profundidades médias entre 2,5 cm e 5 cm.
	3	Regular	Ocorrência de trilhas de rodas com profundidades médias entre 1,5 cm e 2,5 cm.
	2	Bom	Ocorrência de trilhas de rodas com profundidades médias máximas de 1,5 cm.
	1	Muito Bom	Não são percebidas ocorrência de trilhas de rodas ou se dão com profundidades inferiores a 1,5 cm.
Buracos	5	Muito Ruim	Ocorrência de mais de 40 buracos em trechos de 100 m.
	4	Ruim	Ocorrência de 30 a 40 buracos em trechos de 100 m.
	3	Regular	Ocorrência de 20 a 30 buracos em trechos de 100 m.
	2	Bom	Ocorrência máxima em torno de 10 buracos em 100 m.
	1	Muito Bom	Ocorrências inferiores a 10 buracos em 100 m.
Perda de Agregado	5	Muito Ruim	Material muito solto; Ocorrência de cascalho ou pedras colocados sem compactação.
	4	Ruim	Material solto; Ocorrência de cascalho ou pedras colocados com baixa compactação ou inadequada.
	3	Regular	Material pouco solto; Ocorrência de cascalho compactado nas trilhas de rodas.
	2	Bom	Material pouco solto; Ocorrência de cascalho ou pedras bem compactadas.
	1	Muito Bom	Ocorrências de cascalho ou pedras adequadamente compactadas; A qualidade da viagem é muito boa.

Fonte: Adaptado de RIVERSON *et al.* (1987)

4.5 AVALIAÇÃO OBJETIVA PROPOSTA PELO SISTEMA GRAVEL-PASER

No sistema *Gravel-PASER* a escala de classificação baseia-se no tipo de defeito e na sua severidade, e toda a escala está relacionada aos tipos de manutenção mais apropriados aos defeitos apresentados. Uma propriedade peculiar às estradas não pavimentadas é a alteração muito rápida das condições da superfície de rolamento como, por exemplo, de um dia para o outro. Desta forma, o sistema de avaliação deve refletir os fatores mais importantes que afetam o desempenho da via.

Segundo VIVIANE (1998), estes fatores estão relacionados, de uma forma geral, às características geométricas da seção transversal (inclinação do centro da estrada até as valetas laterais de drenagem), ao sistema de drenagem (capacidade dos dispositivos de drenagem de conduzirem a água para fora do corpo estradal), deformação da superfície (corrugações, buracos e trilhas de rodas), defeitos da superfície (presença de pó e perda de agregados) e à camada superficial do corpo estradal propriamente dito (espessura e qualidade da camada superficial para conduzir as cargas de tráfego).

A finalidade do modelo de classificação da condição da via do sistema *Gravel-PASER* é fornecer uma comparação relativa da condição de todos os segmentos. Pois, mesmo estando dentro de uma mesma classificação, nem todos os segmentos tem a mesma condição. Então, o importante é identificar os trechos de forma a distinguí-los entre os que estão em melhores ou piores condições. A escala de avaliação consiste em uma escala simples de classificação, de 5 pontos, onde cada categoria apresentada indica as condições diretamente relacionadas às necessidades de manutenção e/ou reabilitação (VIVIANE, 1998). Resumidamente, tem-se que:

- a) Classificação 5: estado de superfície de rolamento excelente;
- b) Classificação 4: estado de superfície de rolamento bom;
- c) Classificação 3: estado de superfície de rolamento regular;
- d) Classificação 2: estado de superfície de rolamento ruim;
- e) Classificação 1: estado de superfície de rolamento péssimo;

4.6 AVALIAÇÃO OBJETIVA PROPOSTA POR EATON (1992)

A avaliação proposta por EATON *et al.* (1992) e adotada pelo *U. S. Army Corps of Engineers* (USACE, 1995), envolve um método objetivo para o cálculo do índice de condições de rodovias não pavimentadas (URCI). O URCI está baseado em valores de dedução, que são obtidos de acordo com os defeitos encontrados e os respectivos níveis de severidade do trecho estudado. Os defeitos são classificados de acordo com as suas dimensões em relação à área do trecho em que ocorrem. Com isso, as estradas são classificadas em função dos valores médios dos URCI's obtidos de cada trecho estudado.

O princípio do URCI é semelhante ao índice de condições de rodovias pavimentadas (PCI), de acordo com o explanado por CORREIA (2003). Tanto o URCI como o PCI, são utilizados pelo sistema *PAVER*. O sistema *PAVER* foi desenvolvido pelo *U. S. Army Corps of Engineers* (USACE, 1995). Este método pode ser aplicado manualmente ou utilizando o *Micro-PAVER* (*software* para gerência de pavimento desenvolvido pelo *U. S. Army Corps of Engineers*). A escala numérica de avaliação dos defeitos pelo URCI é apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Classificação dos Trechos Estudados de Acordo com o URCI

URCI	CLASSIFICAÇÃO
100	Excelente
85	Muito Bom
70	Bom
55	Regular
40	Ruim
25	Muito Ruim
10	Péssima
0	Intransitável

Adaptado de EATON *et al.* (1992)

ODA (1995) aplicou o método proposto por EATON *et al.* (1992) na caracterização de estradas não pavimentadas do município de São Carlos. Ele foi escolhido por apresentar, de forma mais detalhada, o procedimento de classificação,

mas ODA (1995) adverte que o método tem de ser adaptado às condições locais antes de ser aplicado. Sem esta adaptação, as estradas classificadas pelo método original podem ser inferiormente classificadas em relação às condições reais da superfície de rolamento. Isto ocorre porque apenas os trechos mais críticos são avaliados, e outros tipos de defeito facilmente encontrado nas estradas não pavimentadas brasileiras (como por exemplo, problemas de erosão, atoleiro e areiões) os quais não são especificados no método original, porém, esses defeitos precisam ser quantificados para saber qual a sua influência na serventia do trecho estudado. Cria-se então a necessidade de que esses defeitos sejam classificados como um dos sete tipos de defeitos considerados no método original, de acordo com as características identificadas de cada defeito, com isso, perde-se precisão em relação ao método original.

Há ainda outro detalhe, segundo EATON *et al.* (1992): as curvas dos níveis de severidade dos defeitos foram desenvolvidas depois de muitos anos de experiências de campo. Este desenvolvimento baseou-se em características americanas locais (tipo de solo, solicitação de tráfego, clima, relevo topográfico, etc.).

4.7 MÉTODO ADOTADO NA PESQUISA - ALYNOMO

Por não existir um método padrão para avaliar e classificar estradas não pavimentadas e sabendo-se que a utilização de métodos importados demandaria adaptações para que pudessem ser aplicados em nossa região, o que levaria bastante tempo, adotou-se no caso de estudo da pesquisa o método proposto por CORREIA (2003), denominado de Método ALYNO. O método mostrou-se de fácil aplicação e entendimento, tendo como base os levantamentos topográficos de alta precisão realizados. Porém, a característica que se apresentou como a mais relevante foi a classificação das condições da superfície de rolamento, que se mostrou condizente com a realidade encontrada no município de Aquiraz na pesquisa realizada por CORREIA (2003), porém, algumas modificações no Método ALYNO fizeram-se necessárias, sem perda de precisão do mesmo, com isso criou-se o Método ALYNOMO.

Estas adaptações ocorreram principalmente no isolamento das possíveis variáveis que dizem respeito às condições geométricas e ocorrências de materiais geotécnicos na estrada, ocasionando a inclusão dos levantamentos de dados geotécnicos e na definição dos subtrechos topográficos da área em estudo. No cálculo da severidade

e densidade dos defeitos cadastrados, o procedimento do Método ALYNOMO é o mesmo do Método ALYNO. É importante observar que, no Método ALYNO os resultados finais eram calculados a partir da função resultante, a influência da ação combinada de todos os elementos presentes na natureza serventia da estrada, enquanto que, o resultado final do Método ALYNOMO é calculado em função dos tipos de materiais encontrados e relevo da área de estudo, com isso, tem-se que:

- a) A definição dos trechos é baseada na classificação geotécnica dos diferentes tipos de solo encontrados, de acordo com as suas características e com a posterior criação de Zonas Geotécnicas (ZG). Com a criação das ZG's, a variável das características geotécnicas se torna constante em toda a extensão de cada ZG;
- b) Há ainda uma subdivisão das ZG's; esta subdivisão é baseada na variação brusca das rampas longitudinais do eixo da estrada criando-se, então, as Zonas Topográficas (ZT). Cada ZT apresenta um único valor de rampa longitudinal, aceitando-se pequenas variações, tanto para mais como para menos. Ou seja, cada ZT é estudada como um trecho em separado, com comprimento retilíneo em função do comprimento da rampa longitudinal considerada, ou seja, há uma variabilidade muito grande de comprimento entre as ZT's. Com a criação das ZT's, a variável topográfica (rampa longitudinal do eixo da estrada) também se torna constante em toda a extensão de cada ZT;
- c) Levantamento topográfico cadastral de precisão milimétrica obtido através da operação de um equipamento topográfico eletrônico de alta precisão (estação total), tanto da área em estudo quanto dos defeitos encontrados, exceto a poeira;
- d) Classificação dos defeitos encontrados, quanto ao tipo e sua localização georeferenciada dentro de cada ZT;
- e) Representação vetorial de todas as ZT's dos trechos, levantados com os seus respectivos defeitos, para posterior geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) e do Modelo Digital dos Defeitos (MDD);

- f) A mensuração das áreas dos defeitos encontrados é feita no aplicativo de análise topográfica e se dá através do cálculo de área por coordenadas georeferenciadas (método de Gauss). O cálculo da profundidade dos referidos defeitos se dá através da simples contagem das curvas de nível inseridas na área do defeito. Estas curvas de nível estão equidistantes de um centímetro, facilitando a atribuição de valores para o Grau de Severidade Individual do Defeito (GSID). Este valor é encontrado em função do tipo de defeito, conforme descrito no Capítulo 3. Os atributos de severidade “Baixo”, “Médio” e “Alto” correspondem aos valores 1, 2 e 3, respectivamente;
- g) Encontrado o GSID de cada tipo de defeito por zona topográfica, calcula-se a média por tipo de defeito. Essa média é a Severidade Média por Zona Topográfica (SMZT). Este valor também varia de 0 (zero) a 3 (três);
- h) Calcula-se agora a densidade superficial relativa de cada tipo de defeito por zona topográfica (DSRZT), que consiste no quociente entre a soma das áreas ou comprimento de cada tipo de defeito pela área total ou comprimento total da zona topográfica em que estão inseridos os defeitos. O DSRZT é calculado para cada tipo de defeito;
- i) Encontrado os valores para SMZT e DSRZT de cada tipo de defeito, o produto entre eles consiste em um valor indicativo da severidade relativa por defeito na zona topográfica e é expresso em valores com três casas decimais, variando de 0 (zero) a 3 (três), sendo este valor denominado Índice de Severidade Relativa por Zona Topográfica (ISRZT);
- j) Como cada defeito possui um ISRZT próprio por trecho, em um determinado trecho em estudo que apresente dois ou mais tipos de defeitos, o trecho terá dois ou mais ISRZT's. E, de acordo com CORREIA (2003), o índice que mede a condição de severidade a que o trecho em estudo está submetido é o maior ISRZT nele encontrado. Esse maior valor de ISRZT será chamado de Índice de Condição por Zona Topográfica (ICZT), cujos atributos de classificação são dados na Tabela 4.3;

k) De acordo com a literatura técnica, o índice de serventia de um trecho mede o quanto esse trecho é funcional e confortável ao tráfego por ele utilizado. Nota-se com isso que a serventia é inversamente proporcional à severidade. Então, este trabalho de pesquisa optou por utilizar um valor de serventia variando de 0 (zero) a 3 (três), valor também expresso em três casas decimais. Este valor foi chamado de Índice de Serventia por Zona Topográfica (ISZT) cujos atributos de classificação são dados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3: Classificação para o Índice de Condição por Zona Topográfica (ICZT)

ICZT	CLASSIFICAÇÃO
<i>0,000 – 0,199</i>	Excelente
<i>0,200 – 0,649</i>	Bom
<i>0,650 – 1,099</i>	Regular
<i>1,100 – 1,599</i>	Ruim
<i>1,600 – 2,199</i>	Muito Ruim
<i>2,200 – 3,000</i>	Péssima

Adaptado de CORREIA (2003)

Tabela 4.4: Classificação para o Índice de Serventia por Zona Topográfica (ISZT)

ISZT	CLASSIFICAÇÃO
<i>0,000 – 0,199</i>	Péssima
<i>0,200 – 0,649</i>	Muito Ruim
<i>0,650 – 1,099</i>	Ruim
<i>1,100 – 1,599</i>	Regular
<i>1,600 – 2,199</i>	Bom
<i>2,200 – 3,000</i>	Excelente

O defeito tipo “poeira”, devido à sua difícil mensuração, não está diretamente incluído na classificação do ISZT, uma vez que seus níveis de severidade são atribuídos segundo um processo perceptivo visual, onde se mede a “altura” da nuvem de poeira oriunda da passagem de um veículo em velocidade constante. O Método ALYNOMO encontra-se sintetizado no fluxograma apresentado na Figura 4.1. É importante ressaltar que esta classificação se mostrou coerente com a dos estados reais encontrados em campo, independentemente da estação do ano, pois é uma classificação para o período de estudo. Este período de estudo iniciou-se em janeiro de 2002 com término em janeiro de 2003. Durante este período, foram realizados levantamentos topográficos periódicos na área de estudo com o intuito de se verificar o modelo proposto por CORREIA (2003).

A partir do monitoramento periódico da área pesquisada, os dados obtidos puderam ser recuperados por um sistema de informações geográficas. Conhecendo-se as alterações sazonais dos trechos, esta ferramenta pode ser bastante útil para se prever trechos prioritários, que normalmente são mais deteriorados em períodos chuvosos. Todo este processo é fundamental para que o tomador de decisão que gerencia a malha rodoviária não pavimentada que abrange estes trechos possa tomar decisões que atendam as suas necessidades. É importante ressaltar que os parâmetros utilizados neste trabalho de pesquisa satisfazem as condições locais e demandam estudos de adaptação para serem transferidos e aplicados em outras regiões.

Para a fase de análise e mensuração dos defeitos a partir dos dados obtidos no levantamento topográfico feitos através da estação total eletrônica, faz-se necessário uma plataforma CAD capaz de receber esses dados da estação e tratá-los topograficamente de forma vetorial. Nesta pesquisa, trabalhou-se inicialmente com o Sistema topoGRAPH 98 SE, aplicativo utilizado para descarregar, processar, gerar o MDT e o MDD, analisar e emitir os relatórios necessários dos resultados obtidos a partir dos dados topográficos coletados em campo com a estação total. Logo após o tratamento e análise dos dados obtidos em campo, fez-se necessário o uso do aplicativo *AUTOCAD Land Development Desktop 2i* para tratamento e impressão final dos mapas digitais gerados pelo Sistema topoGRAPH 98 SE. A locação dos trechos foi realizada com o auxílio de um GPS diferencial com precisão submétrica, para uma melhor representação nos mapas digitais gerados.

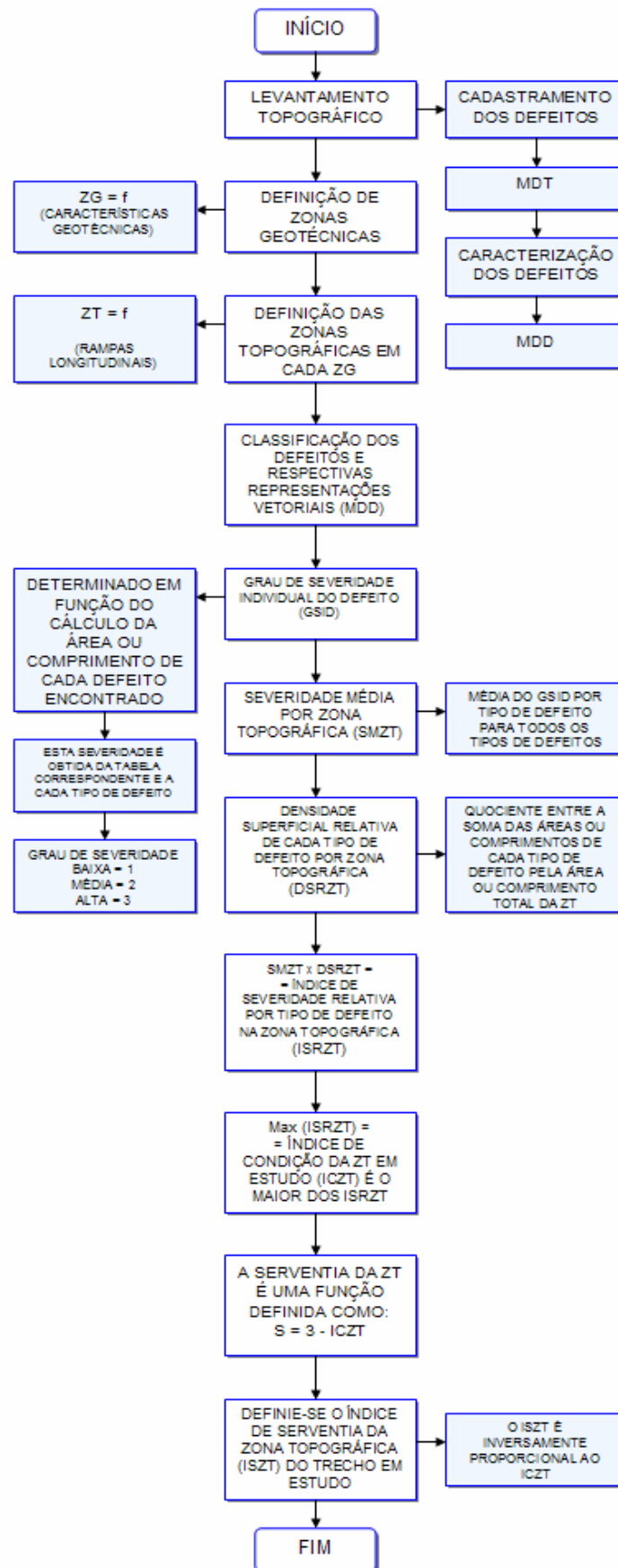


Figura 4.1: Fluxograma do Método ALYNOMO

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO: O MUNICÍPIO DE AQUIRAZ

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1.1 Apresentação

A escolha do município de Aquiraz como área de estudo foi incentivada por vários fatores, que diretamente ou indiretamente influenciaram na continuidade da pesquisa como, por exemplo, o fato do município pertencer à Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, distando apenas 30 km da capital. Isto porque, para o adequado desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário o uso de diversos tipos de equipamentos topográficos (estação total, tripé, bastões, alvos, prismas e GPS diferencial), computadores, equipe de apoio topográfico e fotográfico e veículos para o transporte.

Outro fator muito importante para esta escolha foi a expressiva malha rodoviária não pavimentada pertencente ao município em questão, aproximadamente 90% segundo GEIPOT (2001), além de apresentar um estado de conservação bastante precário (PDDU, 2001).

Havia, ainda, o fato de que o município de Aquiraz estava sendo alvo de pesquisas de mestrado, sendo uma defendida em janeiro de 2003 (CORREIA, 2003), que está diretamente ligada a este trabalho. Observa-se que um dos objetivos desta pesquisa foi verificar o comportamento do Método ALYNO para estradas não pavimentadas, proposto por CORREIA (2003). Esta verificação ocorreu utilizando-se fotografias retiradas nas inspeções visuais e de dados geométricos, obtidos de levantamentos topográficos georeferenciados de precisão milimétrica.

5.1.2 Posicionamento Geográfico

As coordenadas geográficas da sede do município são - 3° 54' 05 " Latitude Sul (S) e - 38° 23' 28" Longitude Oeste (W), seu Meridiano Central é -39°. Sua altitude

média, em relação ao nível médio dos mares, é de 14,23m. De acordo com o PDDU (2001), os limites do município (ver Figura 5.1), são: ao Norte, o Oceano Atlântico, Fortaleza e Eusébio; ao Sul, Horizonte, Cascavel e Pindoretama; ao Leste, o Oceano Atlântico e ao Oeste, Eusébio, Itaitinga e Horizonte.

Segundo o IPLANCE (2000), o município de Aquiraz está inserido na Região Administrativa 1 do Estado do Ceará. O município está ainda dividido político-administrativamente em oito distritos como apresentados na Tabela 5.1:

Tabela 5.1: Divisão Político-Administrativa

DISTRITO	Ano de Criação
Sede	1699
Jacaúna (Iguape)	1893
Justiniano de Serpa	1933
Câmara	1988
Patacas	1988
Tapera	1988
Caponga da Bernarda	1988
João de Castro	1995

Fonte: IPLANCE (2000)

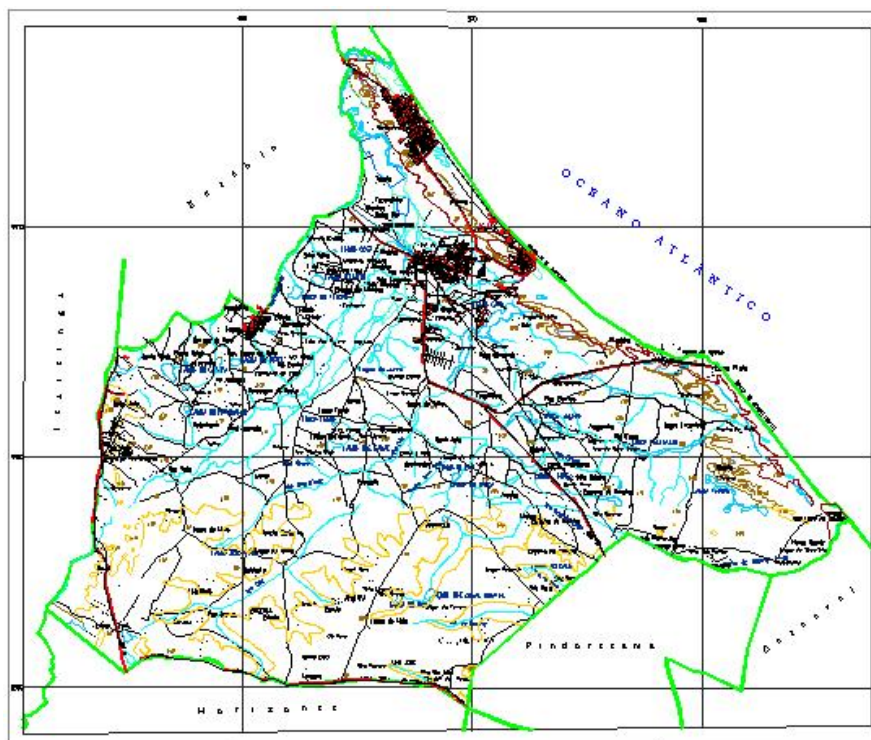


Figura 5.1: Mapa Político do Município de Aquiraz
Fonte: CORREIA (2003)

5.1.3 Urbanização do Município

A cidade de Aquiraz, através de uma Carta Régia de 1699, foi o primeiro povoado do Ceará a ser erigido em vila. Disputou com Fortaleza o controle da província e atualmente se encontra inserida em sua região metropolitana. O município apresenta uma área de 482,8 km², com uma população de 52.282 habitantes distribuída por todo o território municipal. Esta ocupação é observada nas praias, sítios de veraneio e loteamentos, sendo estes últimos constituintes do processo de parcelamento e ocupação do solo municipal, conforme PDDU (2001).

5.1.4 Economia da Região

O município tem potencialidades de se desenvolver economicamente nas atividades de exploração turística (dado seu patrimônio ambiental e cultural), atividade agropecuária (por sua extensão territorial, seu potencial hídrico, bons índices pluviométricos, proximidade do mercado consumidor e por suas tradições na lida com a terra) e nas atividades industriais, sendo estas locadas principalmente no corredor industrial da BR-116. Porém, existem fatores que restringem o desenvolvimento pleno de todas as atividades econômicas potenciais do município, impossibilitando ou criando dificuldades à exploração dos fatores potenciais acima descritos. Um dos principais fatores é a ausência de uma rede viária intramunicipal em boas condições que interligue suas diversas áreas, gerando a polarização da sede, falta de integração interna, o agravamento da pobreza da população e o insuficiente desenvolvimento da agricultura (PDDU, 2001).

5.1.5 Aspectos Econômicos

a) Setor Primário

A produção agrícola municipal é montada em bases tradicionais, com o cultivo de produtos de pouca expressividade em nível de Estado. Os produtos com maior destaque, em termos de área cultivada e representatividade a nível estadual, são a

castanha de caju, o coco e a cana de açúcar. As culturas de subsistência (feijão, milho e mandioca) têm obtido baixos rendimentos por área colhida e até perda de safras, em decorrência das irregularidades climáticas, falta de crédito nas instituições financeiras e de apoio técnico.

No tocante à criação animal, o Município tem melhor representatividade no Estado, com destaque à criação de bovino, suíno e eqüino, mantendo praticamente constante esses plantéis, enquanto que, na maioria dos municípios do Estado, houve declínio com as irregularidades climáticas (IPLANCE, 2000). A produção avícola ocupa primazia dentro do setor agropecuário em Aquiraz, destacando-se entre os primeiros lugares em termos de produção de galinhas/frangos e ovos, na década passada, no Estado (PDDU, 2001).

b) Setor Secundário

Segundo dados do IPLANCE (2000), o setor industrial do município de Aquiraz vem apresentando um razoável crescimento no tocante ao número de empresas, que passou de 36 unidades, em 1990, para 59 unidades, em 1997. A quase totalidade dessas empresas enquadra-se na categoria de indústria de transformação, havendo duas no ramo de construção civil e outras duas no ramo extrativo mineral (argila, granito e pedras ornamentais).

c) Setor Terciário

O setor terciário do município de Aquiraz tem predominância do segmento de comércio varejista pois, de acordo com dados do PDDU (2001), em 1997, existiam 468 estabelecimentos comerciais, onde 97,1% deles eram varejistas de pequeno porte, e 2,9% do setor atacadista. São fortes os vínculos comerciais com a cidade de Fortaleza, para onde escoam a produção agrícola e de artigos industrializados, importando, desta, produtos manufaturados. As principais mercadorias nos fluxos comerciais de Aquiraz são os produtos de gênero alimentícios, artigos de vestuário, material para construção civil em geral, veículos, peças e acessórios.

d) Turismo e Cultura

O município de Aquiraz, com seus 300 anos de idade, acumulou um expressivo acervo cultural, seja no que se refere a costumes e tradições, seja quanto aos bens materiais que abriga. Quanto ao patrimônio arquitetônico, edificações de interesse cultural encontram-se espalhados em diversos pontos de Aquiraz. Com isso, o setor turístico desponta com um considerável potencial a ser explorado, composto por um relevante patrimônio ambiental e cultural, formado pelas praias da Prainha, Iguape, Porto das Dunas, Batoque e por um conjunto arquitetônico constituído por bens tombados pelo patrimônio histórico do Estado.

Na sede municipal há significativo conjunto urbano, datado do século XVIII, nas proximidades da Praça Cônego Eduardo Araripe (a Igreja Matriz São José de Ribamar, a antiga Casa de Câmara e Cadeia, etc). Quanto às manifestações culturais organizadas, há uma diversificação muito grande, há grupos de dança, corais, capoeira e uma banda de música (PDDU, 2001).

5.1.6 Aspectos Fisiográficos

O município de Aquiraz, do ponto de vista geomorfológico, compreende três unidades, que são: Tabuleiros Pré-litorâneos, Dunas e Aluviões. As faixas litorâneas e pré-litorâneas, com altitudes inferiores a 100m, bordeja paralelamente ao seu litoral. Estas faixas apresentam topografias com declividades do interior para a costa, da ordem de 2 a 5%, (PDDU, 2001). A cobertura vegetal do município de aquiraz pode ser dividida em três unidades fitoecológicas: Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Mata Ciliar e o Cerrado, (IPLANCE, 2000; PDDU, 2001).

a) Geomorfologia

O município de Aquiraz é caracterizado pela presença de coberturas sedimentares cenozóicas compostas, basicamente, pelas seguintes unidades

litoestratigráficas: Grupo Barreiras, Dunas e Aluviões e Embasamento Cristalino, como visto na Figura 5.2 abaixo (IPLANCE, 1989).

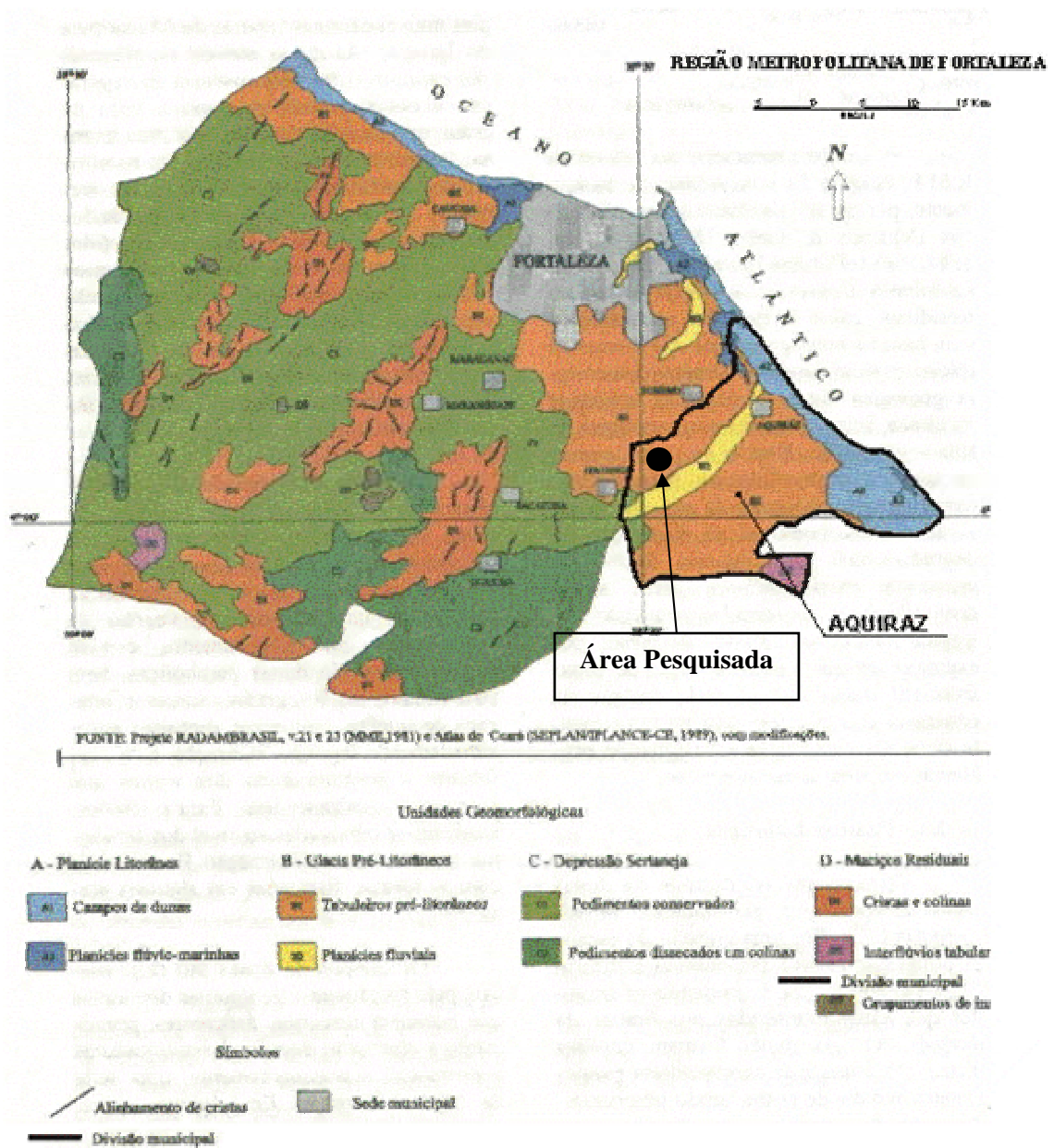


Figura 5.2: Esboço Geomorfológico da RMF
 Fonte: IPLANCE (1989)

Na maior porção do município, predomina o domínio dos depósitos sedimentares cenozóicos constituídos pelas exposições do Terciário-Quaternário da Formação Barreiras. Em pequenos trechos da porção norte do município (ao longo dos

rios, aluviões e mangues) pode ser identificado sedimentos de praias. Em uma pequena porção do município encontram-se os embasamentos cristalinos.

b) Solos

Os principais tipos de solos encontrados no município de Aquiraz de acordo com a Figura 5.3 são os seguintes: areias quartzosas distróficas, areias quartzosas marinhas, solos halomórficos, solos aluviais, Bruno não cálcico e podzóico vermelho-amarelo distrófico.

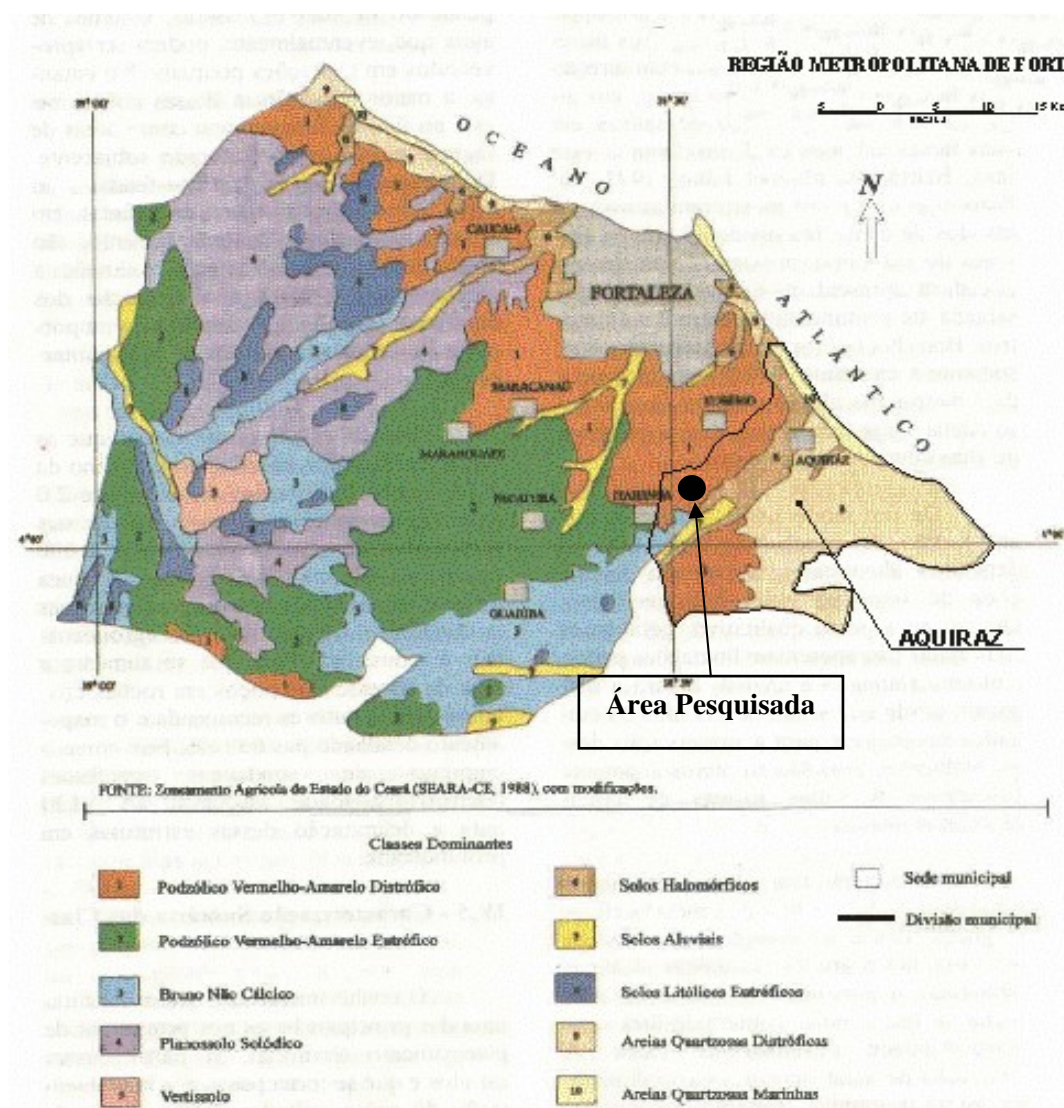


Figura 5.3: Principais Tipos de Solos Encontrados na RMF
Fonte: IPLANCE (1989)

Com a superposição do esboço gráfico contendo os principais tipos de solos encontrados na RMF (Figura 5.3) sobre o esboço geomorfológico da RMF (Figura 5.2), construiu-se a Tabela 5.2, como se segue:

Tabela 5.2: Unidades Geomorfológicas e Classes de Solos

Unidades Geomorfológicas	Classes de Solos
Planície Litorânea	Areias Quartzosas Marinhas
	Areias Quartzosas Distróficas
	Solos Halomórficos
Glacis Pré-Litorâneos	Areias Quartzosas Distróficas
	Solos Halomórficos
	Solos Aluviais
	Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico
Depressão Sertaneja	Podzólico Vermelho-Amarelo
	Bruno Não Cálcico
	Solos Halomórficos
Planície Fluvial	Solos Aluviais
	Solos Halomórficos

Observando a Figura 5.2, a área pesquisada localiza-se na unidade geomorfológica *Glacis Pré-Litorâneo*, mais precisamente no *Tabuleiro Pré-Litorâneo*. De forma análoga, pode-se observar na Figura 5.3 que a classe de solo em que a área pesquisada está locada é a *Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico*. Segundo IPLANCE (2003), a respectiva percentagem ocorrente deste tipo de solo no Estado do Ceará e no Município de Aquiraz é de 28,92% e 19,08%.

O solo é uma riqueza natural para ser explorado e cultivado em toda a sua potencialidade. No entanto, sua exploração e uso devem ser feitos de forma racional, visando a sustentabilidade humana e ambiental.

5.1.7 Recursos Hídricos

O regime hidrológico dos cursos d'água no município de Aquiraz está ligado à irregularidade das chuvas e às estruturas geológicas locais. Os rios são intermitentes, apresentando escoamento superficial nulo durante alguns meses do ano.

Segundo dados do PDDU (2001), o deflúvio anual no município é de 188mm, distribuídos irregularmente ao longo do ano, concentrados nos meses de Janeiro a Agosto. No período de Setembro a Dezembro, o escoamento superficial é nulo. Em termos médios, o mês com maior escoamento é abril, com uma lâmina média em torno de 70mm escoados. A Figura 5.4 mostra o potencial de escoamento superficial do município.

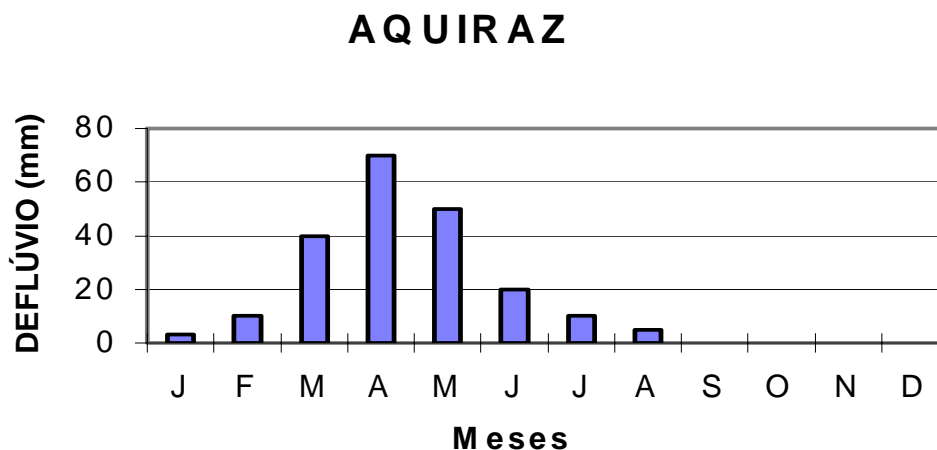


Figura 5.4: Potencial de Escoamento Superficial
Fonte: PDDU (2001)

5.1.8 Informações Climatológicas

Para a caracterização climatológica foram utilizados dados da estação de Fortaleza, que foi escolhida por ser representativa e pertencente à bacia hidrográfica metropolitana. Quanto à repartição dos totais anuais de chuva nos meses do ano, observa-se uma grande concentração no primeiro semestre, com mais de 90% de ocorrência nesse período. O trimestre mais chuvoso é março-maio. O mês de maior média pluviométrica é Abril. Na Figura 5.5, observam-se os gráficos de chuvas médias, nas estações de Aquiraz e Açude Riachão (PDDU, 2001).

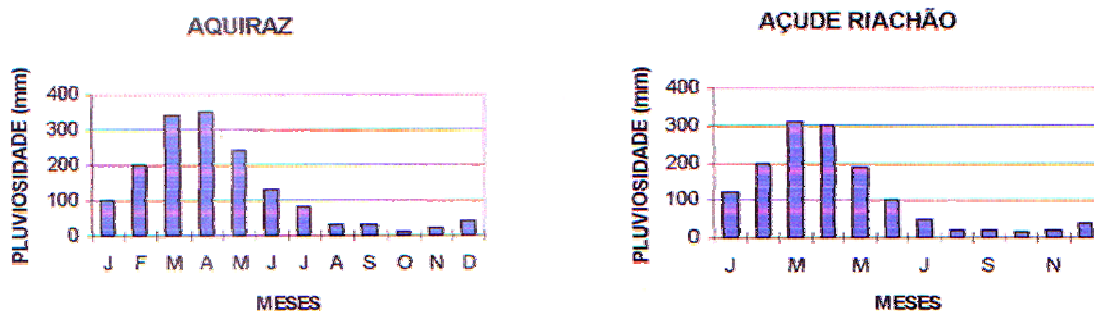


Figura 5.5: Chuva Média nas Estações Aquiraz e Açude Riachão
Fonte: PDDU (2001)

5.1.9 Sistema Viário Básico do Município

Duas rodovias se destacam no sistema rodoviário do município de Aquiraz: a BR 116 e a CE 040. A primeira estabelece a divisa política entre Aquiraz e o município de Itaitinga. Ao longo de seu percurso estão localizadas algumas indústrias de maior porte, como a Cervejaria Antártica, a EMBACEL (fábrica de embalagens), indústrias cerâmicas e granjas. Apesar de ser uma via de escoamento da produção, seu estado está muito precário. Quanto à CE 040, constitui-se no principal acesso à Sede e a diversos pontos do território municipal, a partir de estradas vicinais que nela se originam. Trata-se da via que liga Fortaleza às praias da Costa Leste, nela situando-se alguns pequenos estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços, além de diversas granjas.

O sistema viário das áreas que não estão incluídas no circuito do turismo ressurte-se de uma melhor qualificação de infra-estrutura, principalmente a rede de estradas não-pavimentadas (estradas vicinais) assentadas sobre caminhos pré-existentes, em leito natural ou piçarra. Estas condições de infra-estrutura precária ficam agravadas com a ausência de um sistema de identificação e/ou sinalização, especialmente se for considerada a extensão do município e os inúmeros caminhos que se interligam. Outro aspecto a ressaltar é que, quando há formas de identificação, essas incorporam, na maioria das vezes, maneiras tradicionais que os moradores têm de reconhecer e denominar os diferentes lugares do município.

5.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDO

5.2.1 Introdução

Os solos são materiais que resultam do intemperismo das rochas, seja por desintegração mecânica (intemperismo físico) ou por decomposição química (intemperismo químico). A desintegração mecânica das rochas ocorre através da ação de agentes como: a água, a radiação solar, a temperatura, a vegetação e o vento. Por decomposição química, entende-se o processo em que há a modificação química ou mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, a hidratação, a carbonatação e os efeitos químicos provenientes da vegetação. Normalmente, esses processos atuam simultaneamente, em determinados locais e condicionantes climáticas, e um deles pode ter predominância sobre o outro. Em face desse processo natural de fabricação dos solos pode-se afirmar que o solo é um material heterogêneo. Devido a essa não homogeneidade, pode-se afirmar que os solos são materiais pontualmente diferentes, originando-se disso a importância dos resultados de ensaios, sejam estes realizados *in situ* ou em laboratório, para a caracterização geotécnica de um solo.

Assim, em um ensaio *in situ* o resultado leva em consideração as características estruturais do solo, suas eventuais descontinuidades, o que pode não acontecer em um ensaio de laboratório em face das dimensões reduzidas dos corpos de prova. Por outro lado, no laboratório pode-se ter um maior controle das condições limites do ensaio, do material a ser ensaiado e da precisão das medidas realizadas, além da possibilidade de se repetir aqueles ensaios cujos resultados forem considerados insatisfatórios.

O solo, sob o ponto de vista da engenharia rodoviária, poderá ser utilizado tanto em suas condições naturais quanto como material de construção. Em sua condição natural, será usado como elemento de suporte de um pavimento ou como o próprio pavimento, como visto na maioria das estradas não-pavimentadas, nem sempre sendo possível melhorar suas propriedades de forma econômica. Como material de construção poderá ser utilizado principalmente na construção de aterros para finalidades mais diversas, tais como reforço de subleito, sub-bases e bases de pavimentos. Sendo possível, nestes casos dar ao solo as características necessárias e desejadas em cada projeto rodoviário.

Em pavimentos de estradas, as pressões aplicadas pelos veículos ao pavimento serão transmitidas ao subleito estradal, no plano de contato gerado entre as rodas e a superfície da estrada (greide) e propagada a uma pequena profundidade. Quando o subleito não tem capacidade de suporte compatível com a pressão aplicada pela passagem do tráfego, ocorre a deterioração precoce do pavimento. Então, será sempre viável técnica e economicamente realizar melhorias da capacidade de suporte da estrada, de tal forma que a mesma venha a suportar, de forma satisfatória, o carregamento imposto pelo tráfego ao pavimento. Em estradas não-pavimentadas, a deterioração do corpo estradal se dá de forma mais visível e rápida em relação as estradas pavimentadas.

No início deste fez-se uma inspeção táctil visual com a finalidade de obter uma pré-classificação dos tipos de solos encontrados e locar na área pesquisada o ponto inicial e final de ocorrência. Concluída esta fase, realizaram-se estudos geotécnicos com o intuito de classificar os tipos de solos encontrados a partir de algumas de suas características geotécnicas. Para isso foi retirada uma quantidade suficiente de 8 (oito) amostras de aproximadamente 50 kg cada, para posterior tratamento e transformação em amostras necessárias à realização dos ensaios de laboratório (análise granulométrica e limites de consistência) utilizados para a caracterização e classificação dos solos encontrados. A classificação adotada por este trabalho de mestrado foi a Classificação HRB que, é bastante difundida no meio técnico rodoviário.

5.2.2 Retirada das Amostras

Segundo NOGUEIRA (1995), a caracterização de um solo, através de parâmetros obtidos em ensaios de laboratório, depende, simultaneamente, da qualidade da amostra e do procedimento dos ensaios. De acordo com STANCATI *et al.* (1981), para que uma amostra represente a camada da qual foi retirada, devem ser tomados cuidados durante a retirada da amostra, a fim de se manter o teor de umidade e a textura do solo, com o uso de sacos de lona ou plástico. Ainda de acordo com STANCATI *et al.* (1981) e NOGUEIRA (1995) existe dois tipos de amostras utilizadas nos laboratórios de mecânicas dos solos: amostras indeformadas e amostras deformadas.

De acordo com STANCATI *et al.* (1981) e NOGUEIRA (1995), uma amostra indeformada, geralmente de forma cilíndrica ou cúbica, deve ser representativa da estrutura e teor de umidade do solo, na data de sua retirada, além da textura e composição mineral. Ela é usada para se determinar as características físicas do solo *in situ*, como os índices físicos, o coeficiente de permeabilidade, os parâmetros de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento.

Ainda segundo STANCATI *et al.* (1981) e NOGUEIRA (1995), a amostra deformada é uma porção de solo desagregado, que deve ser representativa do solo que está sendo investigado, apenas quanto à textura e composição mineral. Esse tipo de amostra é comumente utilizado na identificação táctil, nos ensaios de classificação granulométrica e limites de consistência. Na retirada, no transporte e no manuseio de qualquer um dos tipos de amostras, devem ser tomados cuidados extras para que a amostra não sofra nenhuma avaria. A seguir, será descrito o procedimento de amostragem (amostra deformada) utilizado na coleta representativa de material geotécnico para a classificação e mapeamento dos solos a que esta pesquisa se propôs.

a) Procedimento para a Retirada da Amostra Deformada

A retirada de material geotécnico seguiu as recomendações sugeridas na norma DNER (1994a). Antes de se iniciar a retirada da amostra, fez-se uma limpeza no local de trabalho, retirando a vegetação superficial, raízes e qualquer outra matéria estranha ao solo (garrafas, sacos plásticos, latas, etc.), para somente depois iniciar o processo de coleta da amostra, da seguinte forma:

- Executou-se a sondagem a trado, girando-o com pressão manual para introduzi-lo no solo;
- Estando ele cheio, o mesmo foi retirado e esvaziado, repetindo-se a mesma seqüência até atingir a profundidade desejada de 1 (um) metro;
- Chegando-se a profundidade desejada, utilizou-se pá e picareta ao redor do furo feito com o trado, com o intuito de se alcançar à quantidade representativa de material (aproximadamente 50 kg);

- A amostra foi colocada em um saco de plástico para que a umidade natural do solo fosse mantida;
- Logo após o enchimento do saco plástico, o mesmo foi colocado em um saco de lona com o objetivo de evitar que o saco plástico se rasgasse durante o transporte do material coletado;
- Cada amostra foi identificada através de uma etiqueta amarrada à boca do saco de lona;
- Cada etiqueta foi preenchida com informações sobre o local, o número da amostra, a sua profundidade e a data da amostragem;
- Além dessas informações, foi feita uma planta do local da amostragem, indicando os dados necessários de sua localização, para futuro mapeamento e recuperação da localização do ponto amostrado.

b) Preparação das Amostras Deformadas

Foram retiradas amostras reduzidas, na quantidade exigida, para a realização de cada ensaio. A amostra deformada foi submetida a um processo de preparação, seguindo o procedimento normalizado sugerido por DNER (1994b) para a sua transformação em amostras reduzidas, impedindo que os resultados dos ensaios sejam comprometidos por erros cometidos nesta fase.

5.2.3 Ensaio de Análise Granulométrica

Todos os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos e nas mais variadas proporções. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas percentagens de ocorrência permitem obter a função de distribuição de partículas do solo e que é denominada distribuição granulométrica. A distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos foi obtida através do processo de peneiramento de uma amostra seca em estufa, enquanto que para siltes e

argilas se utiliza a sedimentação dos sólidos em um meio líquido. Para solos que tem partículas tanto na fração grossa (areias e pedregulhos) como na fração fina (siltes e argilas) torna-se necessária a análise granulométrica conjunta.

As partículas de um solo, grosso ou fino, não são esféricas, mas se usará sempre a expressão “diâmetro equivalente da partícula” ou apenas “diâmetro equivalente” quando se fizer referência ao seu tamanho. Para os materiais granulares ou fração grossa do solo, o diâmetro equivalente será igual ao diâmetro da menor esfera que circunscreve a partícula, enquanto que para a fração fina este diâmetro é calculado através da Lei de Stokes. A colocação de pontos representativos de pares de valores de diâmetro equivalente pela percentagem de ocorrência em papel semilogarítmico permite que, seja traçada a curva de distribuição granulométrica onde nas abscissas estão representados os diâmetros equivalentes e nas ordenadas, à esquerda, as percentagens retidas e, à direita, as percentagens que passam. O ensaio de análise granulométrica é normalizado no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Nos Estados Unidos, o ensaio é normalizado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), e *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

A série de peneiras varia desde a peneira #400 (abertura de 0,037 mm) até a peneira #4 (abertura de 4,76 mm), com variação constituindo-se de uma progressão geométrica. Para efeitos práticos, utiliza-se apenas até a peneira #200, em ensaios de peneiramento. É conveniente que o conjunto de peneiras a ser utilizado tenha aberturas que no gráfico estejam equidistantes umas das outras.

A curva granulométrica resultante, juntamente com a escala que define os intervalos de variação dos tamanhos das partículas (pedregulhos, areias e fração fina) para cada tipo de solo ensaiado, é utilizada na classificação textural dos solos. As normas aplicadas para a elaboração dos ensaios realizados nesta pesquisa foram: ABNT (1984), DNER (1994b), DNER (1994c), DNER (1996), AASHTO (1986), ASTM (1998) e ASTM (2000a).

a) Objetivos do Ensaio

O objetivo de um ensaio de granulometria é a obtenção dos pares de valores, tamanho das partículas e sua respectiva percentagem de ocorrência, dados necessários ao traçado da curva granulométrica de um solo. A forma de obtenção desses pares de valores dependerá do tamanho das partículas componentes de cada solo. Para partículas maiores que 0,075 mm (# 200) esta separação é feita através de um peneiramento, enquanto que para partículas menores que 0,075 mm (# 200) deverá ser utilizado o processo de sedimentação em água destilada.

Este ensaio pode ser realizado de três maneiras diferentes:

- Apenas o peneiramento para o material granular e/ou pedregulhoso. Esta foi a maneira adotada por esta pesquisa, por não interessar a distribuição granulométrica da fração mais fina, mas apenas o valor percentual dessas partículas. Neste caso foi realizado o peneiramento da amostra após a lavagem do solo na peneira de 0,075 mm (#200), segundo ASTM (2000a);
- A sedimentação para os solos finos, siltes e argilas, materiais com diâmetros menores que 0,075 mm (# 200);
- Ou, ainda, a análise conjunta compreendendo tanto o peneiramento quanto a sedimentação, para solos com partículas grossas e finas.

b) Aparelhagem Utilizada no Ensaio

A análise granulométrica aqui descrita é apenas o peneiramento para o material granular e/ou pedregulhoso, como explicitado anteriormente. A aparelhagem necessária para tal análise é a seguinte:

- Peneiras de 50 – 38 – 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2,0 – 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,30 – 0,15 e 0,075 mm, inclusive tampa e fundo, de acordo com a especificação;
- Agitador para peneiras, manual ou automático, com dispositivo para fixação desde uma até seis peneiras, inclusive tampa e fundo;

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105° C e 110° C;
- Balança com capacidade de 1 kg, sensível á 1 g;
- Balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01g;
- Recipientes para secagem do solo, cápsulas de porcelana ou cápsulas de alumínio, ambas com capacidade de 500ml;
- Escovas de cerdas metálicas;
- Almofariz;
- Destorroador com ponta de borracha;
- Funil com diâmetro de boca maior do que o diâmetro externo da peneira;
- Água filtrada, em quantidade suficiente para a realização sem problemas do ensaio.

c) Procedimentos do Ensaio

Segundo DNER (1994b), iniciou-se a preparação da amostra com a determinação do peso (massa) da amostra seca o ar, de acordo com as resoluções da tabela abaixo.

Tabela 5.3: Determinação do Peso da Amostra Seca ao Ar

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra (mm)	Balança a ser utilizada	
	Capacidade Nominal (Kg)	Resolução (g)
> 25	10	1
5 à 25	5	0,5
< 5	1,5	0,1

Fonte: DNER (1994b)

Com a quantidade em massa da amostra disponível, fez-se com que esse material passa-se na peneira de 2 mm, tomando-se precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha. Lavou-se a parte retida na peneira de 2,0 mm a fim de eliminar o material fino aderente e secar em estufa a 105° C a 110° C, até constância de massa. O material assim obtido foi utilizado no peneiramento grosso.

Com isso obtiveram-se as seguintes partes:

- Todo o material retido na peneira de 2,0 mm, peneiramento grosso;
- Material que passa na peneira de 2,0 mm, do qual cerca de 100 g que foram usados para três determinações de umidade higroscópica, de acordo com DNER (1994d) e ABNT (1982);

O peneiramento será utilizado para material granular (areia e / ou pedregulho). Esse material foi submetido a um processo de secagem natural ao ar livre, para que não houvesse perda de substâncias importantes ao solo.

Isto foi feito do seguinte modo:

- Tomou-se cerca de 1000 g de material, secado naturalmente, e após ter-se escolhido o conjunto de peneiras, mais conveniente para o material em questão, colocar o solo na peneira superior (de maior abertura) e levado o conjunto (o conjunto deverá estar em ordem decrescente de abertura de peneiras, da peneira superior à peneira inferior) ao peneirador, manual ou automático;
- Vibrou-se o conjunto por um tempo não inferior a 10 minutos;
- Determinou-se a massa de sólidos retido em cada peneira e no prato ao fundo do conjunto de peneiras;

- Pesagem e lavagem do solo na peneira de 0,075 mm (#200), para a obtenção da percentagem do material fino.

d) Peso Total da Amostra Seca

Subtraiu-se o peso de material seco retido até a peneira de 2,0 mm, do peso total da amostra seca ao ar, multiplicou-se a diferença assim obtida pelo fator de correção $\frac{100}{100+h}$, em que h é a umidade higroscópica e determinada como abaixo indicado:

$$h = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100 \quad (5.1)$$

Onde:

- h – teor de umidade, em percentagem;
- P_h – peso do material úmido, em g;
- P_s – peso do material seco ao ar livre (naturalmente) ou em estufa a 105° C a 110° C até constância de peso. Fizeram-se as pesagens com aproximação de 0,01 g., em g;

Somou-se este resultado ao peso do material retido na peneira 2,0 mm, obtendo-se o peso total da amostra seca. O cálculo supõe que as partículas retidas na peneira 2,0 mm e secas ao ar livre não tenham umidade higroscópica.

e) Percentagem de Material que Passa nas Peneiras de 50,8mm, 38,1mm, 25,4mm, 19,1mm, 12,7mm, 9,5mm, 4,8mm e 2,0mm

Com o peso do material retido em cada uma das peneiras acima consideradas, calculou-se a percentagem retida em relação ao peso da amostra total seca, com esta, a

percentagem acumulada em cada peneira, e, por subtração de 100, a percentagem que passa.

f) Percentagem de Material que Passa nas Peneiras de 1,2mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,3mm, 0,15mm e 0,075mm

Com o peso do material retido em cada uma das peneiras acima consideradas, calculou-se a percentagem retida em relação ao peso da amostra parcial seca usada na sedimentação, com esta, a percentagem acumulada em cada peneira, por subtração de 100, a percentagem que passa da amostra parcial em cada peneira considerada. Exprimindo esta percentagem em relação à percentagem que passa da amostra total na peneira de 2,00 mm, obteve-se a percentagem que passa da amostra seca.

5.2.4 Ensaio dos Limites de Consistência (Limites de Atterberg)

As influências das frações finas do solo não são definidas apenas pela granulometria, pois com apenas este ensaio não se pode ter noção exata do comportamento do solo. As propriedades plásticas dependem da umidade do solo, da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica. Por esse motivo, faz-se necessário o uso de outros ensaios para definir as propriedades que ao estudo. O sueco Atterberg definiu os limites de consistência e, assim, pode estudar os diferentes “estados” do solo em presença de água. Na ordem decrescente, de quantidade de água presente na amostra, temos: o estado líquido, o estado plástico, o estado semi-sólido e o estado sólido. E entre esses estados temos a seguinte tabela:

Tabela 5.4: Limites de Consistência

Estado Físico	Limite de Consistência	Estado Físico
Estado líquido	Limite de Liquidez - LL	Estado plástico
Estado plástico	Limite de Plasticidade - LP	Estado semi-sólido
Estado semi-sólido	Limite de Contração - LC	Estado sólido

Fonte: SENÇO (1997)

Quanto mais elevado for o valor de IP, maior será a plasticidade do solo em questão. A consistência de um solo em seu estado natural é definida pelo Índice de Consistência, IC.

$$IC = \frac{(LL - h)}{IP} \quad (5.2)$$

Onde:

- IC – índice de consistência;
- LL – limite de liquidez;
- h – umidade natural do solo;
- IP – índice de plasticidade.

Com isso, têm-se como definição para:

- Limite de Liquidez (LL): é a transição do estado de consistência plástica para o estado de consistência líquida, com a umidade crescente. Tem símbolo LL e é expresso em %;
- Limite de Plasticidade (LP): é a transição do estado de consistência semi-sólida para o estado de consistência plástica, com a umidade crescente. Tem símbolo LP e é expresso em %;
- Limite de Contração (LC): define-se como contração linear de um solo a diminuição, em uma dimensão, em que o teor de umidade é reduzido do limite de saturação, limite de plasticidade, para o limite de contração. Tem como símbolo LC e é expresso em %.

a) Objetivos do Ensaio

Determinar através de metodologia de ensaio normalizada o limite de liquidez - LL, e o limite de plasticidade de solos - LP, além de todas as variáveis necessárias para a determinação dos referidos limites acima descritos.

Esses limites são de determinação mais freqüente e são utilizados para a elaboração de sistemas de classificação de solos. São ensaios de rotina em laboratório de solos e sua determinação deve seguir rigorosamente a padronização proposta, afim de que possam ser compatíveis os resultados obtidos por laboratórios diferentes. Ainda que o LL e LP possam ser obtidos através de ensaios bastante simples, a interpretação física e o relacionamento quantitativo de seus valores com os fatores de composição do solo (tipo, quantidade dos minerais, tipo de cátion absorvido, forma e tamanho das partículas, composição da água) é difícil e complexo.

As seguintes normas DNER (1994b), DNER (1994d), DNER (1994e), DNER (1994f) e DNER (1996), subsidiam tecnicamente a metodologia de ensaio, os cálculos executados e os resultados encontrados neste ensaio para esta pesquisa.

b) Aparelhagem do Ensaio

A aparelhagem necessária para a determinação do limite de plasticidade é a seguinte:

- Cápsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- Espátula com lâmina flexível de cerca de 8 cm de comprimento e 2 cm de largura;
- Placa de vidro com superfície esmerilhada;
- Cilindro de comparação de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento;

- Recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem;
- Balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C.

A aparelhagem necessária para a determinação do limite de liquidez é a seguinte:

- Aparelho de Casagrande com as características e dimensões indicadas na Figura 5.6;
- Cinzel com as características e dimensões indicadas na Figura 5.6;

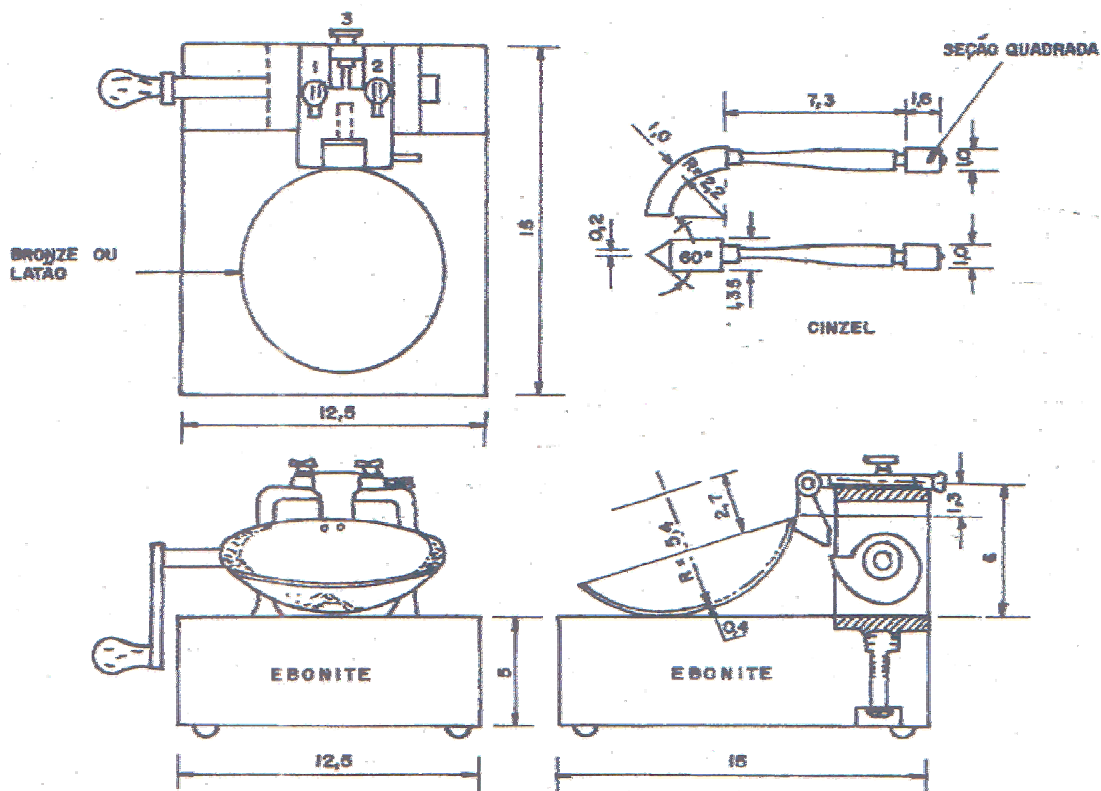


Figura 5.6: Aparelho de Casagrande para determinação do Limite de Liquidez
Fonte: DNER (1994e)

- Balança sensível a 0,01 g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- Recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem;
- Cápsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- Espátula com lâmina flexível de cerca de 8 cm de comprimento e 2 cm de largura;
- Pinça para retirar objetos da estufa;
- Cronômetro para intervalos de tempo até 30 minutos, com precisão de 1 segundo;
- Esfera de aço com 8 mm de diâmetro.

Verificar as características da base de ebonite do aparelho, deixando cair, em queda livre, a esfera de aço com 8 mm de diâmetro, de uma altura de 250 mm sobre a superfície da mesma, devendo a altura de restituição estar compreendida entre 185 mm e 230 mm. Verificar ainda, a massa do conjunto concha e guia do excêntrico que deve estar compreendida no intervalo de 200 g a 220 g. Antes de iniciar-se o ensaio, deve-se calibrar e verificar o estado do aparelho de Casagrande de forma que, o pino que liga a concha ao dispositivo de sustentação não deve ser gasto, não permitindo deslocamentos laterais; os parafusos que prendem a concha ao dispositivo de sustentação devem estar bem apertados; a concha do aparelho não deve apresentar sulco, devido ao uso prolongado do cinzel; o cinzel deve ser inspecionado para verificação das dimensões especificadas.

O procedimento para calibração se dará da seguinte forma:

- Colocar o centro do calibrador, cabo do cinzel, no ponto de contato da concha com a base do aparelho, apoiando a concha sobre o calibrador;

- Desapertar os parafusos 1 e 2, vide Figura 5.6;
- Girar a manivela do aparelho, acionando simultaneamente o parafuso 3, até o instante em que o excêntrico apenas raspe o suporte da concha, sem suspendê-la;
- Apertar os parafusos 1 e 2;

c) Determinação do Limite de Plasticidade – LP

Ao se fragmentar o cilindro, transfere-se imediatamente os seus pedaços para o recipiente e determina-se a umidade pela fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \quad (5.3)$$

Onde:

- h – teor de umidade, em percentagem;
- P_h – peso de material úmido;
- P_s – peso de material seco em estufa a 105 °C – 110 °C, até constância de peso;

Tendo-se o teor de umidade de cada ponto, calcular a média aritmética simples desses valores, bem como, o desvio de 5%, da média. Se um ou mais dos valores dos teores de umidade dos pontos saírem desse intervalo, estes deveram ser desprezados e uma nova média e o valor do desvio, novamente, calculados. A definição do limite de plasticidade de um solo deverá ser a média de pelo menos três determinações. Caso isso não aconteça, o ensaio deverá ser refeito. O valor da média, indicativo do limite de plasticidade, será levado ao inteiro mais próximo e apresentado em forma percentual.

d) Determinação do Limite de Liquidez – LL

Colocar em um papel semilogarítmico, os pontos representativos dos pares obtidos, sendo que o número de golpes será colocado no eixo das abscissas (escala logarítmica) e o teor de umidade no eixo das ordenadas (escala aritmética). Pelos pontos lançados no gráfico será traçada uma reta, tão próxima quanto possível, de pelo menos três pontos. O limite de liquidez, expresso em teor de umidade, é o valor da abscissa do ponto da reta correspondente à ordenada de 25 golpes. O resultado, expresso em percentagem, é aproximado para o número inteiro mais próximo.

e) Determinação do Índice de Plasticidade – IP

O índice de plasticidade, IP, é calculado da seguinte forma:

$$IP = LL - LP \quad (5.4)$$

Onde:

- IP – índice de plasticidade;
- LL – limite de liquidez;
- LP – limite de plasticidade.

O índice de plasticidade indica o intervalo de variação do teor de umidade no qual o solo se encontra no estado plástico. Sempre que o índice de plasticidade não puder ser calculado, por não se conseguir determinar o limite de liquidez ou o limite de plasticidade, o solo deve ser classificado como não plástico. E quanto mais elevado for o valor de IP, maior será a plasticidade do solo em questão.

5.3 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

5.3.1 Introdução

A agrimensura teve suas raízes no antigo Egito nas margens do Rio Nilo, onde após as cheias, os medidores de terra, os agrimensores da época, restituíam as divisas entre as propriedades que por ventura tinham sido destruídas pelas cheias. No decorrer do tempo, as técnicas utilizadas pelos antigos egípcios para a demarcação de terras foram se aperfeiçoando, e hoje, a agrimensura além de dedicar-se à demarcação e divisão de terras atua nas mais diversas atividades da engenharia, como por exemplo:

- a) Ferrovias;
- b) Rodovias;
- c) Transportes;
- d) Drenagem;
- e) Mapeamento urbano e rural;
- f) Traçado de cidades;
- g) Geodésia por satélite – GPS (*Global Position System*);
- h) Geoprocessamento – SIG (Sistema de Informações Geográficas).

A agrimensura é dividida em duas áreas:

- a) Geodésia;
- b) Topografia.

A geodésia é a parte da agrimensura que tem por objetivo o estudo da forma e dimensões da Terra e a implantação de pontos geodésicos para apoio dos levantamentos topográficos. A palavra "Topografia" deriva das palavras gregas "*topos*" (lugar) e

"*graphen*" (descrever), o que significa, a descrição exata e minuciosa de um lugar (DOMINGUES, 1979). A topografia consiste no conhecimento dos instrumentos e métodos que se destinam a efetuar a representação do terreno sobre uma porção limitada da superfície terrestre, simplesmente denominada de "plano topográfico". Esta representação se dá de tal forma a determinar o contorno, dimensão e posição relativa do plano topográfico, desconsiderando a curvatura resultante da esfericidade da Terra.

A Topografia é muitas vezes confundida com a Geodésia pois se utilizam os mesmos equipamentos e praticamente dos mesmos métodos para o mapeamento da superfície terrestre. Porém, enquanto a Topografia tem por finalidade mapear uma pequena porção da superfície terrestre (plano topográfico), que segundo ABNT (1994), o plano topográfico está compreendido em uma área cujo raio varia até 30km. Já a Geodésia, tem por finalidade mapear grandes porções desta mesma superfície, levando em consideração as deformações devido à sua esfericidade. Portanto, pode-se afirmar que a Topografia é menos complexa e restrita, sendo apenas um capítulo da Geodésia, ciência muito mais abrangente e complexa (USACE, 1990).

5.3.2 Representação

A porção da superfície terrestre, levantada topograficamente, é representada através de uma Projeção Ortogonal Cotada e denomina-se Superfície Topográfica. Isto equivale dizer que, não só os limites desta superfície, bem como todas as suas particularidades naturais ou artificiais, serão projetadas sobre um plano considerado horizontal. A esta projeção ou imagem figurada do terreno dá-se o nome de Planta ou Plano Topográfico (ESPARTEL, 1987). A Figura 5.7 apresentada a seguir, representa exatamente a relação da superfície terrestre e de sua projeção sobre o papel.

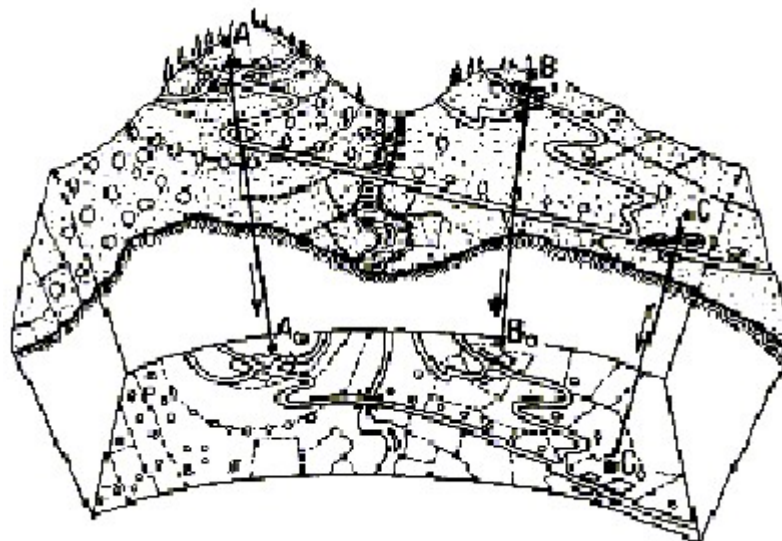


Figura 5.7: Superfície Topográfica e Planta Topográfica
Fonte: ESPARTEL (1987)

5.3.3 Divisão da Topografia

A Topografia divide-se em:

- a) Topologia;
- b) Fotogrametria;
- c) Topometria.

a) Topologia

A Topologia é a parte da topografia que estuda as formas exteriores da superfície terrestre e as leis que devem obedecer ao seu modelado matemático. O estudo da topologia é de fundamental importância para o projeto de estradas (USACE, 1990; USACE, 1994).

b) Fotogrametria

Segundo USACE (1990) e USACE (1994), a Fotogrametria é a parte da topografia que tem por objetivo fotografar pequenos trechos da superfície terrestre para representar em um plano (carta topográfica). A fotogrametria pode ser dividida segundo o tipo e posição espacial da câmara e segundo a sua finalidade, em:

- a) Fotogrametria aérea;
- b) Fotogrametria terrestre.

A fotogrametria aérea ou aerofotogrametria utiliza-se de uma câmara especial, acoplada em um avião ou balão especialmente adaptado para este fim, com o eixo ótico da câmara na vertical, situação ideal para a obtenção da foto (MARCHETTI e GARCIA, 1977). A aerofotogrametria é aplicada em estudos e projetos de barragens, estradas, portos, aeroportos, projetos fundiários, etc. A fotogrametria terrestre utiliza-se de câmara especial acoplada ao teodolito, a esse conjunto chama-se de foto-teodolito.

A obtenção de fotografias oriundas de estações fixas sobre a superfície do terreno (fotogrametria terrestre) dá-se através do eixo ótico da câmara na horizontal. (fotografias horizontais). Este tipo de fotografia é utilizada no mapeamento topográfico de regiões de difícil acesso, segundo MARCHETTI e GARCIA (1977).

c) Topometria

Segundo USACE (1994), a Topometria tem por objetivo o estudo e aplicação dos processos de medidas baseadas na geometria aplicada, onde os elementos geométricos (ângulos e distâncias) são obtidos por instrumentos topográficos, tais como teodolitos, níveis, estações totais, receptores GPS, trenas, miras, etc. A topometria divide-se em: planimetria (placometria) e altimetria (hipsometria). Ao conjunto de

métodos abrangidos pela Planimetria e pela Altimetria dá-se o nome de Topometria, mais conhecida como Planialtimetria, de acordo com USACE (1994).

De acordo com USACE (1994), o levantamento topográfico planimétrico, compreende o conjunto de operações necessárias para a determinação de pontos e feições do terreno que serão projetados sobre um plano horizontal de referência através de suas coordenadas X e Y (representação bidimensional). Ainda segundo USACE (1994), o levantamento topográfico altimétrico, compreende o conjunto de operações necessárias para a determinação de pontos e feições do terreno que, além de serem projetados sobre um plano horizontal de referência, terão sua representação em relação a um plano de referência vertical ou de nível através de suas coordenadas X, Y e Z (representação tridimensional).

O tipo de levantamento topográfico utilizado nesta pesquisa foi o planialtimétrico. Esta escolha se deu ao fato de que este tipo de levantamento ter uma representatividade tridimensional (coordenadas X, Y e Z).

5.3.4 Erros em Topografia

Por melhores que sejam os equipamentos e por mais cuidado que se tome ao se proceder a um levantamento topográfico, as medidas obtidas jamais estarão isentas de erros. Sendo assim, os erros pertinentes às medições topográficas podem ser classificados de acordo, com USACE (1994), como:

- a) Naturais: são aqueles ocasionados por fatores ambientais, ou seja, temperatura, vento, refração e pressão atmosféricas, ação da gravidade, etc. Alguns destes erros são classificados como erros sistemáticos e dificilmente podem ser evitados. São passíveis de correção desde que sejam tomadas as devidas precauções durante a medição;
- b) Instrumentais: são aqueles ocasionados por defeitos ou imperfeições dos instrumentos ou aparelhos utilizados nas medições. Alguns destes erros são classificados como erros acidentais e ocorrem ocasionalmente, podendo ser evitados e/ou corrigidos com a aferição e calibragem constante dos aparelhos;

- c) Pessoais: são aqueles ocasionados pela falta de cuidado do operador. Os mais comuns são: erro na leitura dos ângulos, erro na leitura da régua graduada, na contagem do número de trenadas, ponto visado errado, aparelho fora de prumo, aparelho fora de nível, etc. São classificados como erros grosseiros e não devem ocorrer jamais, pois não são passíveis de correção.

É importante ressaltar que alguns erros se anulam durante a medição ou durante o processo de cálculo. Portanto, um levantamento que aparentemente não apresenta erros, não significa estar necessariamente correto.

5.3.5 Grandezas Medidas em um Levantamento Topográfico

Segundo ESPARTEL (1987) as grandezas medidas em um levantamento topográfico podem ser de dois tipos:

- a) Angulares;
- b) Lineares.

a) Grandezas angulares

Segundo LOCH e CORDINI (1995), as grandezas angulares são:

- a) Ângulo Horizontal (Hz): é ângulo medido entre as projeções de dois alinhamentos do terreno, no plano horizontal;
- b) Ângulo Vertical (α): é o ângulo medido entre um alinhamento do terreno e o plano do horizonte. Pode ser ascendente (+) ou descendente (-), conforme se encontre acima (aclive) ou abaixo (declive) deste plano.

O ângulo vertical, nos equipamentos topográficos modernos (teodolito e estação total), pode também ser medido a partir da vertical do lugar com origem no Zênite ou Nadir, dependendo do tipo de aparelho, daí o ângulo denominar-se Ângulo Zenital (V ou Z) ou Nadiral (V' ou Z'). A Figura 5.8 (adaptado de DOMINGUES, 1979) mostra a relação entre ângulos verticais e zenitais.

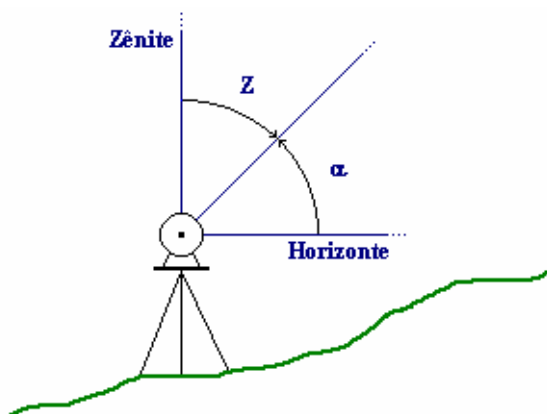


Figura 5.8: Relação entre Ângulos Zenitais e Verticais
Fonte: Adaptado de DOMINGUES (1979)

b) Grandezas lineares

As grandezas lineares são:

- a) Distância Horizontal (DH): é a distância medida entre dois pontos, no plano horizontal. Este plano pode, conforme indicado na Figura 7.5 (adaptado de GARCIA e PIEDADE, 1978), passar tanto pelo ponto A, quanto pelo ponto B em questão;
- b) Distância Vertical ou Diferença de Nível (DV ou DN): é a distância medida entre dois pontos, num plano vertical que é perpendicular ao plano horizontal. Este plano vertical pode passar por qualquer um dos pontos A/A' ou B/B' pode ser visto na Figura 5.9;

- c) Distância Inclinada (DI): é a distância medida entre dois pontos, em planos que seguem a inclinação da superfície do terreno, como pode ser visto na Figura 5.9.

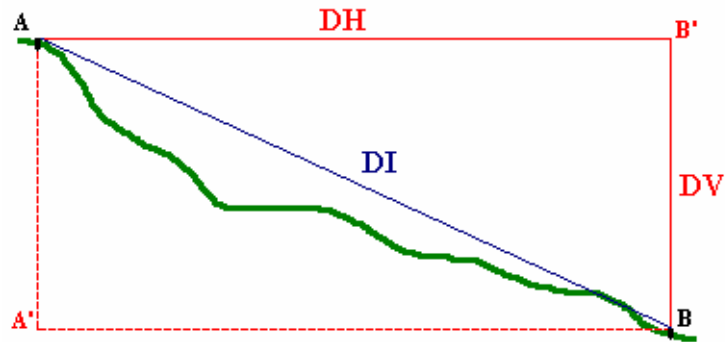


Figura 5.9: Tipos de Distâncias
Fonte: Adaptado de GARCIA E PIEDADE (1978)

É importante relembrar que as grandezas representadas pela planimetria são: distância e ângulo horizontais (planta); enquanto as grandezas representadas pela altimetria são: distância e ângulo verticais, representados em planta através das curvas de nível, ou, através de um perfil, seja este longitudinal e/ou transversal.

5.3.6 Medidas de Distâncias

Como já foi visto, a distância horizontal (DH) entre dois pontos, em Topografia, é o comprimento do segmento de reta entre estes pontos, projetado sobre um plano horizontal. Para a obtenção desta distância, existem alguns processos, os quais veremos a seguir.

a) Medida direta de distâncias

Na literatura técnica pertinente ao assunto, há uma divisão quanto ao conceito de medida direta de distância. Alguns autores afirmam que o processo de medida de distâncias é direto, quando esta distância é determinada em comparação a uma grandeza

padrão previamente estabelecida. Enquanto outros autores, porém, afirmam que a medição é direta quando o instrumento de medida utilizado é aplicado diretamente sobre o terreno. Segundo ESPARTEL (1987) os principais dispositivos utilizados na medida direta de distâncias, também conhecidos por diastímetros, são os seguintes:

- Fita e trena de aço;
- Trena de lona;
- Trena de fibra de vidro;

b) Precisão e cuidados na medida direta de distâncias

Segundo DOMINGUES (1979) a precisão com que as distâncias são obtidas depende, principalmente:

- Do dispositivo de medição utilizado;
- Dos acessórios utilizados;
- Dos cuidados tomados durante a operação.

E ainda, segundo DOMINGUES (1979), os cuidados que se deve tomar quando da realização de medidas de distâncias com diastímetros são:

- Que os operadores se mantenham no alinhamento a medir;
- Que se assegurem da horizontalidade do diastímetro;
- Que mantenham tensão uniforme nas extremidades.

A Tabela 5.5 fornece a precisão que é conseguida quando se utilizam diastímetros em um levantamento, levando-se em consideração os efeitos da tensão, da temperatura, da horizontalidade e do alinhamento.

Tabela 5.5: Precisão dos Diastímetros

Diastímetro	Precisão
Fita e trena de aço	1cm/100m
Trena plástica	5cm/100m
Trena de lona	25cm/100m

Fonte: DOMINGUES (1979)

c) Erros na Medida Direta de Distâncias

Os erros cometidos, voluntários ou involuntariamente, durante a medida direta de distâncias, devem-se principalmente a:

- a) Ao comprimento do diastímetro que é afetado pela tensão aplicada em suas extremidades e também pela temperatura ambiente. A correção depende dos coeficientes de elasticidade e de dilatação do material com que o mesmo é fabricado. Portanto, deve-se utilizar dinamômetro e termômetro durante as medições para que estas correções possam ser efetuadas ou, proceder a aferição do diastímetro de tempos em tempos. A distância horizontal correta (DH_C) entre dois pontos será dada dividindo-se o comprimento aferido do diastímetro (ℓ_a) pelo seu comprimento nominal (ℓ) e multiplicando-se pela distância horizontal medida (DH_m), conforme pode ser visto na equação abaixo:

$$DH_C = \frac{\ell_a}{\ell} \times DH_m \quad (5.5)$$

- b) Ao desvio vertical ou falta de horizontalidade do diastímetro, que ocorre quando o terreno é muito inclinado. Assim, mede-se uma série de linhas inclinadas em vez de medir as projeções destas linhas sobre o plano horizontal, como na Figura 5.10 (BORGES, 1999).

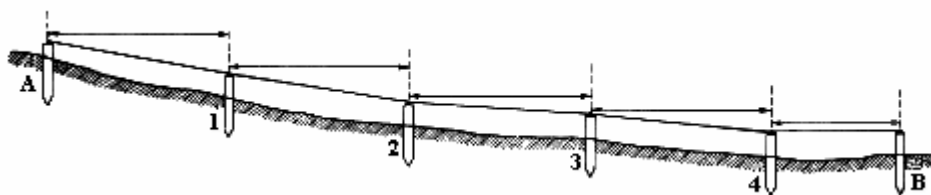


Figura 5.10: Exemplo de Falta de Horizontalidade do Diastímetro
Fonte: BORGES (1999)

- c) A catenária: curvatura ou barriga que se forma ao tensionar o diastímetro e que é função do seu peso e do seu comprimento. Para evitá-la, é necessário utilizar diastímetros leves, não muito longos e aplicar tensão apropriada (segundo normas do fabricante) às suas extremidades;
- d) a verticalidade da baliza: como indicado na Figura 5.11 (BORGES, 1999), é ocasionado por uma inclinação da baliza quando esta se encontra posicionada sobre o alinhamento a medir. Provoca o encurtamento ou alongamento deste alinhamento caso esteja incorretamente posicionada para trás ou para frente respectivamente. Este tipo de erro só poderá ser evitado se for feito uso do nível de cantoneira;

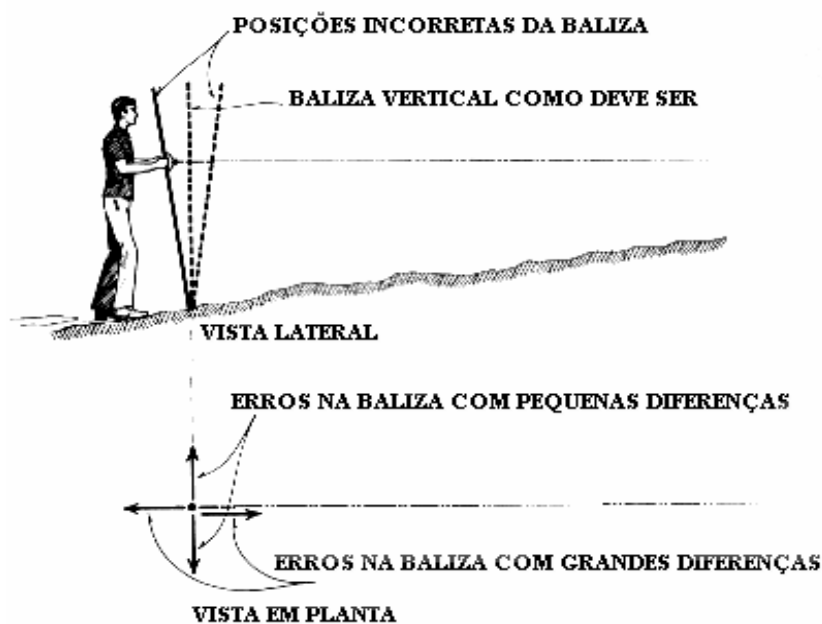


Figura 5.11: Exemplo de Falta de Verticalidade da Baliza
Fonte: BORGES (1999)

- e) ao desvio lateral do alinhamento: ocasionado por um descuido no balizamento intermediário, mede-se uma linha cheia de quebras em vez de uma linha reta. Para evitar este tipo de erro é necessário maior atenção por parte dos balizeiros.

Para a coleta de dados topográficos feitos por esta pesquisa, preferiu-se não utilizar a coleta convencional de dados topográficos obtida através de teodolito, diastímetros, balizas e caderneta de campo. Esta escolha foi embasada no fato de que as medições diretas de distância direta através de diastímetros provocam uma serie de erros que com o transcorrer da coleta de dados vão se acumulando, fato este que tiraria a precisão dos dados topográficos coletados em campo. Deve-se ainda observar que o transcorrer da coleta convencional é mais demorada, assim como o processamento e cálculo dos dados coletados em campo. Todos esses motivos corroboraram para que a coleta de dados topográficos de campo fosse feita de forma eletrônica através do uso de estações totais de última geração e de fácil manuseio.

5.3.7 Medidas Eletrônicas de Distâncias

De acordo com alguns autores, a medida eletrônica de distâncias não pode ser considerada um tipo de medida direta, pois não necessita percorrer o alinhamento a medir para obter o seu comprimento. Nem por isso deve ser considerada um tipo de medida indireta, pois não envolve a leitura de réguas e cálculos posteriores para a obtenção das distâncias. Na verdade, durante uma medição eletrônica, o operador intervém muito pouco na obtenção das medidas, pois todas são obtidas automaticamente através de um simples pressionar de botão. Este tipo de medição, no entanto, não isenta o operador das etapas de estacionamento, nivelamento e pontaria dos instrumentos utilizados, qualquer que seja a tecnologia envolvida no processo comum de medição.

Segundo LOCH e CORDINI (1995) os instrumentos eletrônicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos tradicionais processos de medida, tais como: economia de tempo, facilidade de operação e, principalmente, precisão adequada aos vários tipos de trabalhos topográficos, cartográficos e geodésicos.

A medida eletrônica de distâncias baseia-se na emissão e recepção de sinais luminosos (visíveis ou não), de microondas ou infravermelho que atingem um anteparo ou refletor. A distância entre o emissor e o receptor e o anteparo ou refletor é calculada eletronicamente e, segundo LOCH e CORDINI (1995), baseia-se no comprimento de onda, na frequência e velocidade de propagação do sinal. Embora o tópico em discussão seja o da medida eletrônica de distâncias, alguns dos equipamentos que serão descritos em seguida também medem ângulos eletronicamente. Assim, entre os principais equipamentos utilizados atualmente na medida eletrônica de distâncias e/ou ângulos, podem-se citar:

- a) Trena eletrônica: dispositivo eletrônico composto de um emissor/receptor de sinais que podem ser pulsações ultra-sônicas ou feixe de luz infravermelho;
- b) Teodolito eletrônico: é um dispositivo com ótica de alto rendimento, mecânica de precisão, facilidade de utilização e altíssima confiabilidade. Normalmente faz parte de um sistema modular que permite adaptar outros equipamentos de medição (distanciômetro ou trena eletrônica) que se adequem às suas novas necessidades a um custo reduzido. A Figura 5.12 a seguir ilustra um teodolito eletrônico da marca LEICA (modelo T460d) e uma trena eletrônica, também da LEICA, a ele acoplada para a medição das distâncias;



Figura 5.12: Exemplo de um Teodolito Eletrônico com uma Trena Eletrônica Acoplada

- c) Distanciômetro eletrônico: é um equipamento exclusivo para medição de distâncias (DH, DV e DI). A tecnologia utilizada na medição destas distâncias é a do infravermelho. A precisão das medidas depende do modelo de equipamento utilizado. É normalmente utilizado acoplado a um teodolito óptico-prismático convencional ou a um teodolito eletrônico. A Figura 5.13 ilustra a vista posterior (teclado e visor) e anterior (emissor e receptor do infravermelho) de um distanciômetro da marca LEICA, modelo DI3000s;



Figura 5.13: Exemplo de um Distanciômetro Eletrônico

A Figura 5.14 a ilustra um bastão, um prisma e um tripé específico para bastão, dispositivo este que garante ao máximo a verticalidade do bastão dando maior precisão ao levantamento, porém faz com que a coleta de dados se torne lenta.



Figura 5.14: Exemplo de Bastão, Prisma e Tripé de Bastão

d) Estação total: de acordo com LOCH e CORDINI (1995), uma estação total é o conjunto definido por um teodolito eletrônico, um distanciômetro a ele incorporado e um microprocessador que automaticamente monitora o estado de operação do instrumento. Portanto, este tipo de equipamento é capaz de medir ângulos horizontais e verticais (teodolito) e distâncias horizontais, verticais e inclinadas (distanciômetro), além de poder processar e mostrar ao operador uma série de outras informações, tais como: condições do nivelamento do aparelho, número do ponto medido, as coordenadas UTM ou geográficas e a altitude do ponto, a altura do aparelho, a altura do bastão, etc. A tecnologia utilizada na medição das distâncias é a do infravermelho. As medidas obtidas com o levantamento podem ser registradas em cadernetas de campo convencionais, através de coletores de dados, através de módulos específicos (tipo cartão PCMCIA) incorporados ao próprio aparelho, ou, como no caso dos equipamentos mais modernos, o aparelho é provido de um chip de memória que armazena todos os dados coletados em campo, que são facilmente descarregados em um micro-computador. A Figura 5.15 ilustra a estação total utilizada na coleta de dados topográficos desta pesquisa, estação total da marca TOPCON, modelo GTS 229, com centragem no ponto a laser, capacidade de 8.000 pontos coordenados, com precisão e leitura angular de 1", precisão linear de 1,0mm + 2ppm (partes por milhão) e alcance de 800 m com um único prisma.



Figura 5.15: Estação Total Utilizada na Pesquisa

a) Erros na medida eletrônica

Os erros que ocorrem durante a medida eletrônica de ângulos e distâncias não diferem muito dos que ocorrem com a medida indireta. São eles:

- Erro linear de centragem do instrumento: já descrito anteriormente;
- Erro linear de centragem do sinal-refletor: ocorre quando a projeção do centro do sinal não coincide com a posição do ponto sobre o qual está estacionado. Uma das maneiras de se evitar este tipo de erro é utilizar um bipé para o correto posicionamento do sinal sobre o ponto;
- Erro de calagem ou nivelamento do instrumento: já descrito anteriormente;
- Erro de pontaria: ocorre quando o centro do retículo do aparelho (cruzeta) não coincide com o centro do prisma que compõe o sinal refletor, conforme pode ser visto na Figura 5.16;

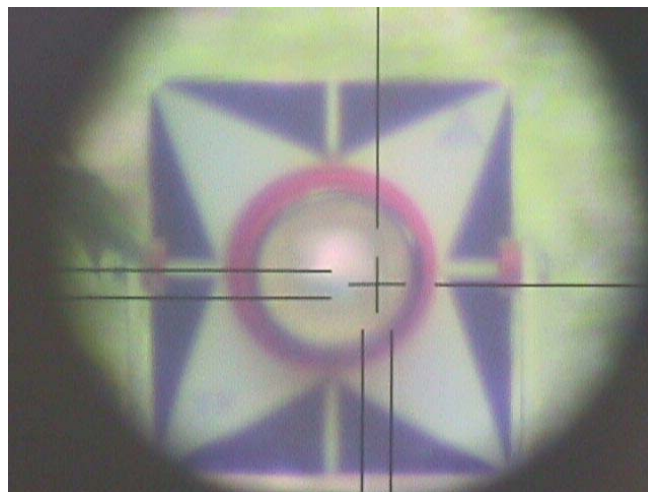


Figura 5.16: Exemplo de Erro de Pontaria

- Erro de operação do instrumento: ocorre quando o operador não está familiarizado com as funções, programas e acessórios informatizados (coletores) que acompanham o instrumento;
- Segundo alguns fabricantes, o raio infravermelho emitido pelos equipamentos eletrônicos de medição, visível ou não, é inofensivo e enviado por um diodo que pertence à classe do laser 1. Este raio é normalmente

afetado pelas variações bruscas de temperatura, pressão atmosférica e umidade. Portanto, é aconselhável que os levantamentos sejam efetuados em dias de boas condições atmosféricas.

5.3.8 Medidas Angulares

Em relação aos ângulos medidos em Topografia, pode-se classificá-los em:

a) Ângulos Horizontais

Os ângulos horizontais medidos em topografia podem ser:

a) Internos

Para a medida de um ângulo horizontal interno a dois alinhamentos consecutivos de uma poligonal fechada, o aparelho deve ser estacionado, nivelado e centrado com perfeição, sobre um dos pontos que a definem (o prolongamento do eixo principal do aparelho deve coincidir com a tachinha sobre o piquete). Assim, o método de leitura do referido ângulo, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, consiste em:

- Executar a pontaria (fina) sobre o ponto a vante (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão $\rightarrow Hz = 000^{\circ}00'00''$);
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o ponto a ré (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (Hz) marcado no visor LCD que corresponde ao ângulo horizontal interno medido.

A Figura 5.17 ilustra os ângulos horizontais internos medidos em todos os pontos de uma poligonal fechada.

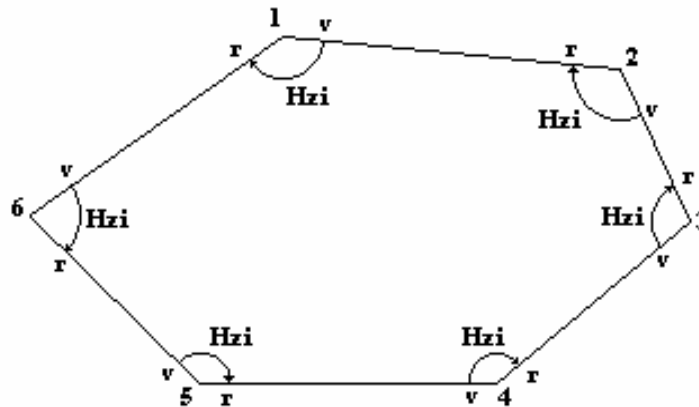


Figura 5.17: Poligonal Fechada com Ângulos Horizontais Internos Medidos

A relação entre os ângulos horizontais internos de uma poligonal fechada onde n representa o número de pontos ou estações da poligonal, é dada por:

$$\sum H_{z_i} = 180^\circ \cdot (n - 2) \quad (5.6)$$

b) Externos

Para a medida de um ângulo horizontal externo a dois alinhamentos consecutivos de uma poligonal fechada, o aparelho deve ser estacionado, nivelado e centrado com perfeição, sobre um dos pontos que a definem (o prolongamento do eixo principal do aparelho deve coincidir com a tachinha sobre o piquete). Assim, o método de leitura do referido ângulo, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, consiste em:

- Executar a pontaria (fina) sobre o ponto a ré (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão $\rightarrow H_z = 000^\circ 00' 00''$);
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o ponto a vante (segundo alinhamento);

- Anotar ou registrar o ângulo (Hz) marcado no visor LCD que corresponde ao ângulo horizontal externo medido.

A Figura 5.18 ilustra os ângulos horizontais externos medidos em todos os pontos de uma poligonal fechada.

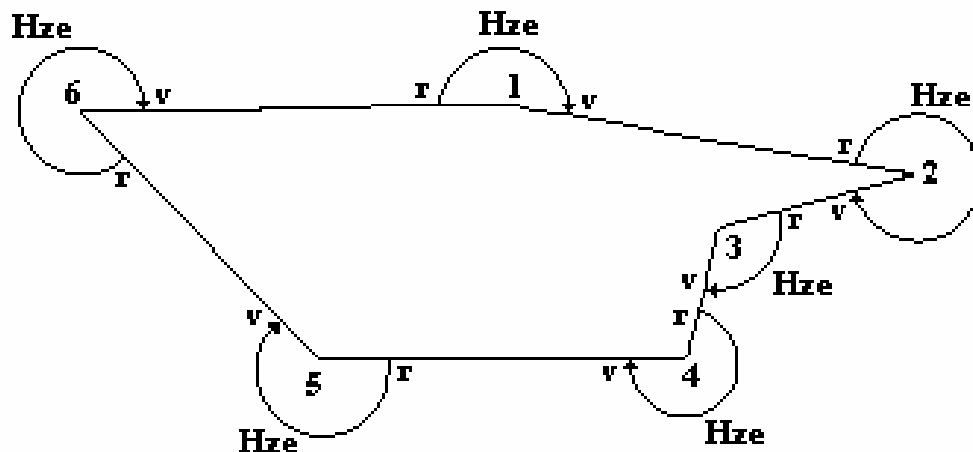


Figura 5.18: Poligonal Fechada com Ângulos Horizontais Externos Medidos

A relação entre os ângulos horizontais externos de uma poligonal fechada, onde n representa o número de pontos ou estações da poligonal e os ângulos horizontais internos e externos variam de 0° a 360° , cuja relação é dada por:

$$\sum Hze = 180^\circ \cdot (n + 2) \quad (5.7)$$

c) Deflexão

A deflexão é o ângulo horizontal que o alinhamento à vante forma com o prolongamento do alinhamento à ré, para um aparelho estacionado, nivelado e centrado com perfeição, em um determinado ponto de uma poligonal. Este ângulo varia de 0° a 180° . Pode ser positivo, ou à direita, se o sentido de giro for horário; negativo, ou à esquerda, se o sentido de giro for anti-horário.

Assim, para a medida da deflexão, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, procede-se da seguinte maneira para o método de tombamento da luneta:

- Executar a pontaria (fina) sobre o ponto a ré (primeiro alinhamento);
- Zerar o círculo horizontal do aparelho nesta posição (procedimento padrão $\rightarrow Hz = 000^{\circ}00'00''$);
- Liberar somente a luneta do aparelho e tombá-la segundo o prolongamento do primeiro alinhamento;
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o ponto a vante (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (Hz) marcado no visor LCD que corresponde à deflexão medida.

A Figura 5.19 ilustra as deflexões medidas em todos os pontos de uma poligonal fechada, tombando a luneta.

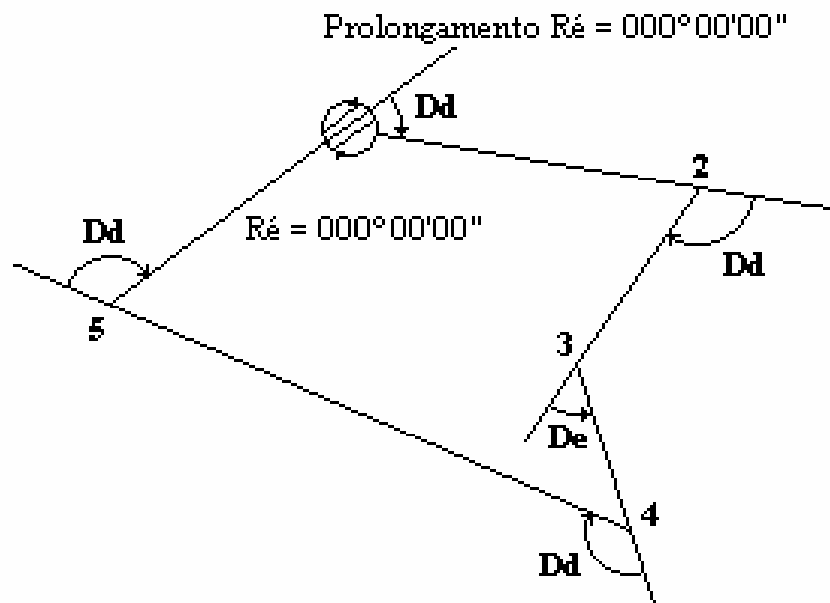


Figura 5.19: Deflexões Medidas nos Vértices de uma Poligonal Fechada

A relação entre as deflexões de uma poligonal fechada é dada por:

$$\Sigma D_d - \Sigma D_e = 360^{\circ} \quad (5.8)$$

A relação entre as deflexões e os ângulos horizontais internos de uma poligonal fechada é dada por:

- Para $H_{zi} > 180^\circ$

$$D_e = H_{zi} - 180^\circ \quad (5.9)$$

- para $H_{zi} < 180^\circ$

$$D_d = 180^\circ - H_{zi} \quad (5.10)$$

Há ainda uma outra forma de obtenção das medidas de deflexão, utilizando um teodolito eletrônico ou uma estação total, procede-se da seguinte maneira para o método de girar o aparelho:

- Executar a pontaria (fina) sobre o ponto a ré (primeiro alinhamento);
- Imputar ao círculo horizontal do aparelho, nesta posição, um ângulo $H_z = 180^\circ 00' 00''$;
- Liberar e girar o aparelho (sentido horário ou anti-horário), executando a pontaria (fina) sobre o ponto a vante (segundo alinhamento);
- Anotar ou registrar o ângulo (Hz) marcado no visor LCD que corresponde à deflexão medida.

A Figura 5.20 ilustra a deflexão medida em um dos pontos de uma poligonal fechada, girando o aparelho.

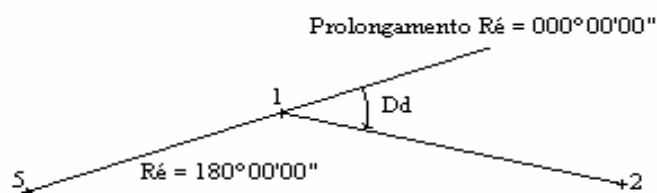


Figura 5.20: Deflexões Medidas nos Vértices de uma Poligonal Girando o Aparelho

Nos levantamentos topográficos, a escolha do tipo de ângulo horizontal que será medido depende do projeto e, a medida destes ângulos, constitui-se uma das suas maiores fontes de erro do levantamento.

b) Ângulos Verticais

Como descrito anteriormente, a medida dos ângulos verticais, em alguns aparelhos, poderá ser feita da seguinte maneira:

1) Com origem no horizonte.

Quando recebe o nome de ângulo vertical ou inclinação, variando de 0° a 90° em direção ascendente (acima do horizonte) ou (abaixo do horizonte).

2) Com origem no Zênite ou no Nadir

Quando recebe o nome de ângulo zenital ou nadiral, variando de 0° a 360° . As relações entre o ângulo zenital e o vertical estão descritas na Tabela 5.6 seguinte:

Tabela 5.6: Relações entre o Ângulo Zenital e o Vertical

Ângulo Zenital	Inclinação	Direção
$000^\circ < V \leq 090^\circ$	$\alpha = 90^\circ - V$	Ascendente
$090^\circ < V \leq 180^\circ$	$\alpha = V - 90^\circ$	Descendente
$180^\circ < V \leq 270^\circ$	$\alpha = 270^\circ - V$	Descendente
$270^\circ < V \leq 360^\circ$	$\alpha = V - 270^\circ$	Ascendente

c) Ângulos de Orientação

A linha que une o pólo Norte ao pólo Sul da Terra (aqueles representados nos mapas) é denominada linha dos pólos ou eixo de rotação. Estes pólos são denominados geográficos ou verdadeiros e, em função disso, a linha que os une, também é tida como

verdadeira. No entanto, sabe-se que a Terra, devido ao seu movimento de rotação, gera um campo magnético fazendo com que se comporte como um grande ímã. Assim, uma bússola estacionada sobre a superfície terrestre, tem sua agulha atraída pelos pólos deste ímã. Neste caso, porém, os pólos que atraem a agulha da bússola são denominados magnéticos.

O grande problema da topografia no que diz respeito aos ângulos de orientação, está justamente na não coincidência dos pólos magnéticos com os geográficos e na variação da distância que os separa com o passar tempo. Em função destas características, é necessário que se compreenda bem que, ao se orientar um alinhamento no campo em relação à direção Norte ou Sul, deve-se saber qual dos sistemas (verdadeiro ou magnético) está sendo utilizado como referência. Para tanto, é importante saber que:

- Meridiano Geográfico ou Verdadeiro: é a seção elíptica contida no plano definido pela *linha dos pólos verdadeira* e a vertical do lugar (observador);
- Meridiano Magnético: é a seção elíptica contida no plano definido pela *linha dos pólos magnética* e a vertical do lugar (observador);
- Declinação Magnética: é o ângulo formado entre o *meridiano verdadeiro* (norte / sul verdadeiro) e o *meridiano magnético* (norte / sul magnético) de um lugar. Este ângulo varia de lugar para lugar e também varia num mesmo lugar com o passar do tempo. Estas variações denominam-se *seculares*. Atualmente, para a determinação das *variações seculares* e da própria *declinação magnética*, utilizam-se fórmulas específicas (disponíveis em programas de computador específicos para Cartografia).

Segundo normas cartográficas, as cartas e mapas comercializados no país apresentam, em suas legendas, os valores da declinação magnética e da variação secular para o centro da região neles representada.

Os ângulos de orientação utilizados em topografia são:

- Azimute Geográfico ou Verdadeiro: definido como o ângulo horizontal que a direção de um alinhamento faz com o *meridiano geográfico*. Este ângulo pode ser determinado através de métodos astronômicos (observação ao sol, observação a estrelas, etc.) e, atualmente, através do uso de receptores GPS de precisão. Este foi o método utilizado nesta pesquisa;
- Azimute Magnético: definido como o ângulo horizontal que a direção de um alinhamento faz com o *meridiano magnético*. Este ângulo é obtido através de uma bússola.

Os azimutes (verdadeiros ou magnéticos) são contados a partir da direção norte (N) ou sul (S) do meridiano, no sentido horário - azimutes à direita, ou, no sentido anti-horário - azimutes à esquerda, variando sempre de 0° a 360° . O rumo verdadeiro é obtido em função do azimute verdadeiro através de relações matemáticas simples. rumo magnético é o menor ângulo horizontal que um alinhamento forma com a direção norte / sul definida pela agulha de uma bússola (meridiano magnético).

Os rumos (verdadeiros ou magnéticos) são contados a partir da direção norte (N) ou sul (S) do meridiano, no sentido horário ou anti-horário, variando de 0° a 90° e sempre acompanhados da direção ou quadrante em que se encontram (NE, SE, SO, NO).

A Figura 5.21 ilustra as orientações de quatro alinhamentos definidos sobre o terreno através de *Azimutes à Direita*, ou seja, dos ângulos contados a partir da direção norte do meridiano no sentido horário.

O restabelecimento dos alinhamentos e ângulos magnéticos marcados para uma poligonal, na época (dia, mês, ano) de sua medição, para os dias atuais, em alguns projetos se faz necessário, uma vez que a posição dos pólos norte e sul magnéticos (que servem de referência para a medição dos rumos e azimutes magnéticos) varia com o passar do tempo. Assim, para achar a posição correta de uma poligonal levantada em determinada época, é necessário que os valores resultantes deste levantamento sejam

reconstituídos para a época atual. O mesmo processo é utilizado para locação, em campo, de linhas projetadas sobre plantas ou cartas (estradas, linhas de transmissão, gasodutos, oleodutos, etc.)

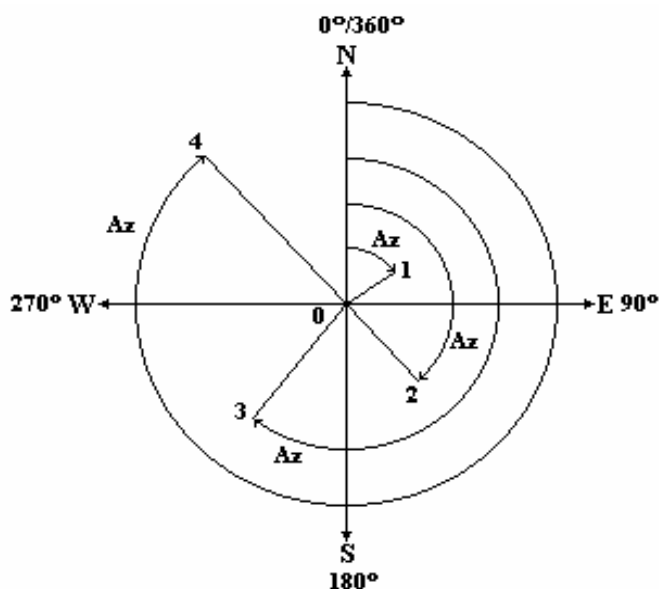


Figura 5.21: Esquema Gráfico de Azimutes

5.3.9 Métodos de Levantamentos Plani-Altimétricos

Nos itens anteriores foram descritos os métodos e equipamentos utilizados na medição de distâncias e ângulos durante os levantamentos topográficos. Estes levantamentos, porém, devem ser empregados obedecendo a certos critérios e seguindo determinadas etapas que dependem do tamanho da área, do relevo e da precisão requerida pelo projeto que os comporta.

Na seqüência, portanto, serão descritos os métodos de levantamentos planialtimétricos que envolvem as fases de:

- a) Reconhecimento do terreno;
- b) Levantamento da poligonal;
- c) Levantamento das feições planimétricas e altimétricas;

- d) Fechamentos, área, coordenadas;
- e) Desenho da planta;
- f) Memorial de cálculo.

5.3.10 Levantamento por Interseção

Segundo ESPARTEL (1987), o Método da Interseção também é conhecido como método das Coordenadas Bipolares. Este método é empregado na avaliação de pequenas superfícies de relevo acidentado.

Uma vez demarcado o contorno da superfície a ser levantada, o método consiste em localizar, estrategicamente, dois pontos (P) e (Q), dentro ou fora da superfície demarcada, e de onde possam ser avistados todos os demais pontos que a definem. Assim, mede-se a distância horizontal entre os pontos (P) e (Q), que constituirão uma base de referência, bem como, todos os ângulos horizontais formados entre a base e os demais pontos demarcados. A medida da distância poderá ser realizada através de método direto, indireto ou eletrônico e a medida dos ângulos poderá ser realizada através do emprego de teodolitos óticos ou eletrônicos. A precisão resultante do levantamento dependerá, evidentemente, do tipo de dispositivo ou equipamento utilizado. A Figura 5.22 ilustra uma superfície demarcada por sete pontos com os pontos (P) e (Q) estrategicamente localizados no interior da mesma. De (P) e (Q) são medidos os ângulos horizontais entre a base e os pontos (1 a 7).

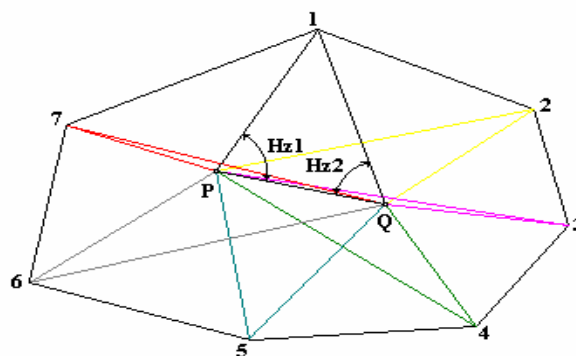


Figura 5.22: Levantamento por Interseção

De cada triângulo são conhecidos dois ângulos e um lado (base definida por PQ). As demais distâncias e ângulos necessários à determinação da superfície em questão são determinados por relações trigonométricas.

5.3.11 Levantamento por Caminhamento

Segundo ESPARTEL (1987) este é o método utilizado no levantamento de superfícies relativamente grandes e de relevo acidentado. Requer uma quantidade maior de medidas e de tempo para a sua realização, porém, oferece maior confiabilidade no que diz respeito aos resultados.

5.3.12 Levantamento por Irradiação

Segundo ESPARTEL (1987), o Método da Irradiação também é conhecido como método da Decomposição em Triângulos ou das Coordenadas Polares. É empregado na avaliação de superfícies relativamente planas além de ser muito preciso. Por esse motivo esse método é o que mais se adequou a condição topográfica da região em estudo e por isso foi escolhido para o levantamento topográfico dos defeitos encontrados durante o andamento da pesquisa.

Uma vez demarcado o contorno da superfície a ser levantada, o método consiste em localizar, estrategicamente, um ponto (P), dentro ou fora da superfície demarcada, e de onde possam ser avistados todos os demais pontos que a definem. Assim, deste ponto (P) são medidas as distâncias aos pontos definidores da referida superfície, bem como, os ângulos horizontais entre os alinhamentos que possuem (P) como vértice.

A medida das distâncias poderá ser realizada através de método direto, indireto ou eletrônico e a medida dos ângulos poderá ser realizada através do emprego de teodolitos óticos ou eletrônicos. A precisão resultante do levantamento dependerá, evidentemente, do tipo de dispositivo ou equipamento utilizado. A Figura 5.23 ilustra uma superfície demarcada por sete pontos com o ponto (P) estrategicamente localizado

no interior da mesma. De (P) são medidos os ângulos horizontais (H_{z1} a H_{z7}) e as distâncias horizontais (DH_1 a DH_7).

De cada triângulo (cujo vértice principal é P) são conhecidos dois lados e um ângulo. As demais distâncias e ângulos necessários à determinação da superfície em questão são determinados por relações trigonométricas. Este método é muito empregado em projetos que envolvem amarração de detalhes e na densificação do apoio terrestre para trabalhos topográficos e fotogramétricos, por esse motivo este método foi escolhido para os levantamentos realizados na área de estudo.

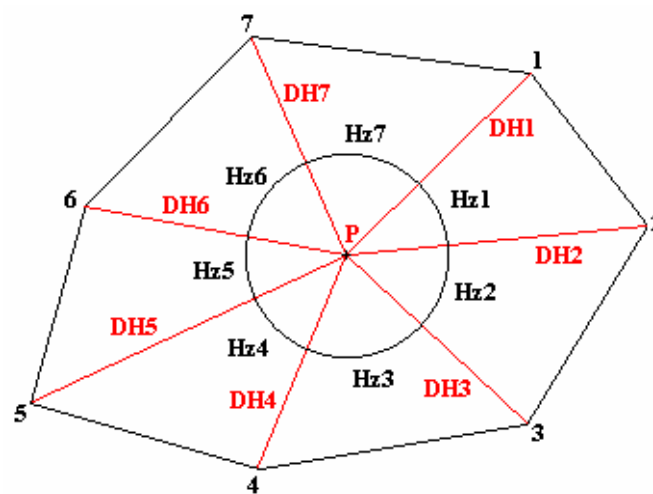


Figura 5.23: Levantamento por Irradiação

5.3.13 Processamento dos Dados da Pesquisa

O processamento dos dados realizados nesta pesquisa inclui o fechamento dos ângulos horizontais, o transporte dos azimutes, o fechamento das distâncias horizontais, o transporte das coordenadas e o cálculo da área. A seguir apresenta-se a seqüência dos cálculos, segundo ABNT (1994):

- a) Transformação dos ângulos horizontais externos em internos;

$$H_{z_i} = 360^\circ - H_{z_e} \quad (5.11)$$

b) Erro de fechamento angular;

$$\sum Hz_i = 180^\circ \cdot (n - 2) \quad (5.12)$$

Se o somatório dos ângulos horizontais internos medidos não resultar no valor estipulado pela relação acima, haverá um erro de fechamento (e). O erro encontrado não pode ser maior que a *tolerância angular* (ξ). A *tolerância angular*, por sua vez, depende do aparelho utilizado. Para a estação total utilizada na pesquisa, a tolerância angular é dada por:

$$\xi = 1'' \sqrt{n} \quad (5.13)$$

Onde n representa o número de vértices da poligonal medida.

c) Distribuição do erro angular;

A correção devido ao erro de fechamento angular é proporcional ao ângulo medido na estação e é dada pela seguinte relação:

$$C_n = \frac{Hz_i \cdot e}{\sum Hz_i} \quad (5.14)$$

Os valores de correção encontrados para cada ângulo devem ser somados ou subtraídos aos mesmos conforme o erro seja para menos ou para mais.

d) Transporte do azimute;

De posse do azimute do primeiro alinhamento da poligonal (medido ou calculado), faz-se o transporte para os demais alinhamentos através da relação:

$$Az(P) = Az(P - 1) - Hz(P) \quad (5.15)$$

$$\text{Se o } Az(P) > 180^\circ \rightarrow Az(P) = Az(P) - 180^\circ \quad (5.16)$$

$$\text{Se o } Az(P) < 180^\circ \rightarrow Az(P) = Az(P) + 180^\circ \quad (5.17)$$

Para checar se o transporte do azimute foi processado corretamente, o azimute de chegada encontrado deve ser igual ao azimute de saída no caso de poligonal fechada enquadada.

e) Variações em X e Y;

As variações em X e Y de cada estação da poligonal são calculadas através das seguintes relações:

$$\Delta X(P) = DH(P) \cdot \text{sen}(Az(P)) \quad (5.18)$$

$$\Delta Y(P) = DH(P) \cdot \text{cos}(Az(P)) \quad (5.19)$$

f) Fechamento linear;

O fechamento linear de uma poligonal é feito através das seguintes relações:

$$\sum \Delta X = 0 \quad \text{e} \quad \sum \Delta Y = 0 \quad (5.20)$$

Caso os somatórios não sejam iguais a zero, haverá um erro de fechamento linear em X (eixo X) e outro em Y (eixo Y).

g) Distribuição do erro linear;

As correções devido ao erro de fechamento linear são proporcionais às distâncias medidas e são dadas pelas seguintes relações:

$$Cx(P) = \frac{ex}{P} \cdot DH(P) \quad \text{e} \quad Cy(P) = \frac{ey}{P} \cdot DH(P) \quad (5.21)$$

Os valores de correção encontrados para cada variação em X e Y devem ser somados ou subtraídos às mesmas conforme os erros sejam para menos ou para mais.

h) Precisão do levantamento

A precisão (M) do levantamento é determinada pela relação:

$$M = \frac{P}{\varepsilon} \quad \text{onde} \quad \varepsilon = \sqrt{ex^2 + ey^2} \quad (5.22)$$

Segundo ABNT (1994), o levantamento topográfico de maior precisão tem o valor mínimo de M de 1:100.000, ou seja, admite-se um erro máximo de 1 mm a cada 1 km, para que o levantamento topográfico seja de primeira ordem. O valor mínimo de M adotado neste trabalho é de 1:100.000.

i) Transporte das coordenadas

De posse das coordenadas X e Y (locais ou UTM) do primeiro par de pontos da poligonal, faz-se o transporte para os demais pontos através das relações:

$$X(P) = X(P-1) + \Delta X(P-1) \quad \text{e} \quad Y(P) = Y(P-1) + \Delta Y(P-1) \quad (5.23)$$

Neste trabalho, para checar se o transporte das coordenadas foi processado corretamente, os valores de X e Y de chegada encontrados devem ser iguais aos valores de X e Y levantados em campo com o auxílio de GPS geodésico. Com os valores de coordenadas encontrados procede-se o cálculo da escala e desenho da planta.

j) Cálculo da área

O valor da área dos defeitos cadastrados topograficamente é calculada aplicando-se o Método de Gauss.

5.3.14 Cálculo de Poligonal Fechada com Pontos Irradiados

O levantamento topográfico dos pontos irradiados de detalhes dos defeitos, seções transversais, etc, foram efetuados a partir da poligonal principal fechada. Onde

inicialmente efetuou-se o cálculo da poligonal fechada, e os erros encontrados foram devidamente distribuídos de forma homogênea tanto nos pontos de estação (poligonal) como nos pontos irradiados levantados referentes aos detalhes, ou seja, dos defeitos cadastrados.

Após o fechamento do cálculo da poligonal principal segundo ABNT (1994), efetuou-se o cálculo do azimute e das projeções dos pontos irradiados para finalmente calcular as coordenadas dos pontos irradiados. Nesta pesquisa foram realizados estes cálculos em mais de 10.000 (Dez mil) pontos irradiados, onde as coordenadas desses pontos estão devidamente apresentadas nos anexos deste trabalho. Todo o trabalho realizado para se transformar todos os pontos coletados durante a coleta de dados de campo desta pesquisa em coordenadas tridimensionais, ou seja, do tipo (X, Y, Z) , foi conduzido no intuito de gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Modelo Digital dos Defeitos (MDD). O MDD é o MDT dos defeitos cadastrados topograficamente.

5.3.15 Modelagem Digital do Terreno - MDT

O grande esforço observado em pesquisas de MDT, objetiva o desenvolvimento e a aplicação dessa tecnologia a áreas tais como: o planejamento de zonas agrícolas, o traçado de rodovias e ferrovias, a análise de corte-aterro, projeto e locação de barragens, gerência de pavimentos e a simulação de impacto ambiental.

Com base nas diversas técnicas de aquisição de dados analisadas anteriormente, o processo de obtenção de um MDT pode ser expresso através de 3 etapas:

- a) Obtenção de uma amostra A , $A \equiv \{(x, y, z) \in S_T \mid (x, y) \in D\}$ onde S_T é a superfície topográfica de uma região D do plano de referência X, Y e z representa a cota, distância do ponto amostral ao plano X, Y ;
- b) Decomposição da região $D \subset XY$, $D \equiv \left\{ \bigcup_{i=1}^x D_i \mid D_i \subset R^2 \right\}$ onde D_i representam sub-regiões simples (triângulos, por exemplo) que são disjuntas ou têm arestas ou um vértice em comum;

- c) Obtenção de uma função $f : D \mapsto R$, tal que $Z = f_i(x, y)$, onde $(x, y) \in D_i$ e f_i é uma restrição de f em D_i . A função f é, geralmente polinomial por partes e define uma aproximação \overline{S}_i de S_i que contém os pontos amostrais $(\overline{S}_i \supset A \wedge \overline{S}_i \neq S_i)$.

Inúmeros sistemas, tais como, o *Spring*, o *Data-Geosis*, o *Sistema topoGRAPH*, o *Civil Survey* dentre outros foram desenvolvidos com o objetivo de resolver problemas específicos que envolvem, direta ou indiretamente, a modelagem digital de terrenos. Na medida do possível, estes sistemas disponibilizam uma interface amigável com o usuário. O *Spring* e o *Sistema topoGRAPH*, por exemplo, permitem importação de dados nos formatos ASCII, DXF e ARC-INFO, aceita também a digitalização de linhas e pontos para auxílio na construção de MDT's. No *Data-Geosis*, o módulo de entrada de dados comunica-se com estação total e permite a importação de arquivos DXF e ASCII definidos pelo usuário. O *Civil Survey* é utilizado em conjunto com o *AutoCad* e destaca-se pela grande variedade de aplicações de suporte que apresenta aos usuários que utilizam esta linha de trabalho. Sua entrada de dados permite importação de arquivos DXF e ASCII.

A partir da análise das etapas de construção de um modelo digital de terreno, observa-se que houve um grande avanço nas técnicas computacionais de modelagem. Entretanto, a fase de Aquisição dos Dados carece de um melhor tratamento computacional para superar as atuais limitações que encarecem o processo de construção de um MDT.

A necessidade de se obter dados topográficos com maior precisão e rapidez estimularam, no decorrer dos anos, o desenvolvimento de técnicas e equipamentos cada vez mais sofisticados. Como nem todos os usuários podem adquirir os equipamentos sofisticados, que em geral têm custos bastante elevados, o mercado continua a oferecer uma enorme gama de equipamentos para atender as necessidades de cada usuário. Em função dessa realidade, diversas técnicas de aquisição de dados, antigas e modernas, são hoje utilizadas.

5.3.16 As Técnicas de Aquisição de Dados

As técnicas desenvolvidas para a obtenção de dados topográficos utilizam como fonte de dados: Cadernetas de Campo (utilizando teodolitos mecânicos convencionais), Cadernetas Eletrônicas (utilizando Estação Total), Cartas Topográficas e dados obtidos a partir de levantamentos por GPS (*Global Positioning System*) e por Aerofotogrametria.

Dentre os equipamentos mais utilizados na aquisição dos dados, estão os Teodolitos WILD e KERN, Estação Total das marcas NIKON, TOPCON e LEICA e Estações GPS das marcas ASHTECH, MAGELLAN, TRIMBLE e GARMIN. Algumas das fontes supracitadas geram arquivos de dados com padrões predefinidos que, para serem utilizados em sistemas que contemplam MDT's, necessitam de um pré-processamento para a obtenção das coordenadas (X, Y, Z) dos pontos amostrais da região, necessários para geração do modelo.

No desenvolvimento de uma interface, para minimizar as dificuldades na entrada de dados em sistemas de modelagem, é necessário que se delimitem técnicas de aquisição de dados topográficos, conforme pode ser visto na Figura 5.24, bem como o formato dos dados disponibilizados pelos equipamentos correspondentes. Tendo em vista a diversidade de marcas e modelos de equipamentos, a interface descrita nesse trabalho trata de dados gerados por receptores GPS, de dados obtidos por meio de teodolitos e estação total e dados obtidos por cartas digitalizadas. Com relação aos dados contidos em relatórios eletrônicos de GPS e Estação total, a interface trata aqueles oriundos dos GPS das marcas ASTHEC e MAGELLAN, bem como os oriundos de estação total da marca NIKON. No entanto é fácil adicionar rotinas para reconhecimento de dados gerados por equipamentos de outras marcas.

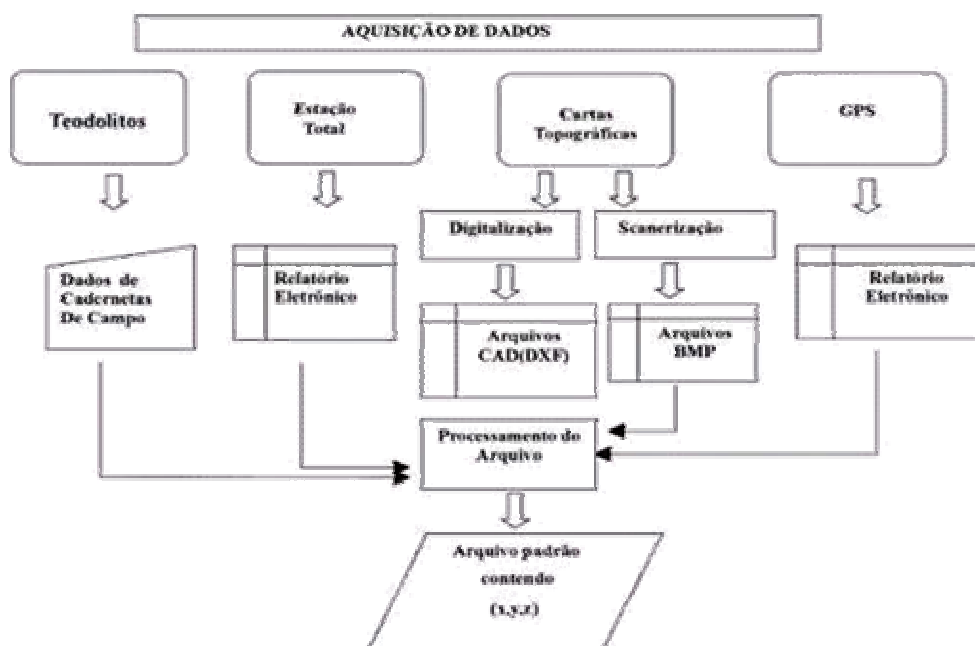


Figura 5.24: Fluxograma de aquisição de dados

5.3.17 Estação Total e Cadernetas Eletrônicas

As estações totais são instrumentos que têm a capacidade de armazenar os dados de levantamentos planialtimétricos em um módulo de memória interna ou serem transferidos a um coletor de dados externo através de uma interface serial. Sua precisão de medida angular e a precisão e o alcance do seu distanciômetro estão interligados.

O processo de aquisição dos dados consiste em posicionar o equipamento em um ponto de coordenadas (E_0, N_0, H_0) conhecidas e um bastão com um prisma na extremidade, no ponto que se deseja obter as coordenadas e distância. O prisma refletirá um feixe de luz infravermelho que sai da objetiva do telescópio e a estação total fará a gravação das coordenadas e cota do alvo, gerando vários triângulos que por sua vez fomentaram a geração das curvas de nível, conforme pode ser visto na Figura 5.25.

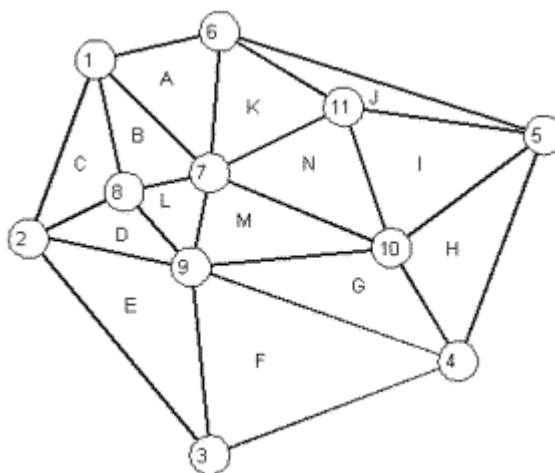


Figura 5.25: Triangulação dos pontos irradiados

5.3.18 Implementação e Interface Visual do MDT

A interface foi implementada utilizando-se o paradigma de programação orientada a objetos disponibilizada no *Sistema topoGRAPH*, com um ambiente gráfico amigável, para sanar as dificuldades e as limitações impostas pela diversidade de técnicas. As técnicas de aquisição, tratamento e análise dos dados topográficos objeto desta pesquisa, conforme apresentados na Figura 5.24, foram satisfatoriamente contempladas com o uso do *Sistema topoGRAPH*.

A interface foi organizada em módulos definidos a partir dos arquivos ou relatórios originados das fontes de aquisição de dados durante a coleta de dados desta pesquisa. Tais módulos foram implementados combinando uma base de dados no formato vetorial e um conjunto de variáveis estruturadas vetorialmente conforme exigências no processamento do arquivo de saída.

Na implementação dos métodos para o processamento dos arquivos ou relatórios de entrada, a interface foi codificada de forma que o módulo principal designado entrada de dados fosse utilizado para chamada dos sub-módulos: Cadernetas Completas, Poligonais, Irradiações, que com o uso do GPS originam mapas georreferenciados vetoriais.

O módulo de Cadernetas Completas apresenta a peculiaridade dos dados de entrada serem digitadas visto teclado, armazenados em memória e processados quando do término da digitação, ocasião em que a geração do arquivo de saída pode ser solicitada. Para evitar risco de perda de dados devido a falhas de equipamento ou queda de energia, foi ativada uma função de gravação automática de arquivos, que pode ser desativada a critério do usuário.

5.3.19 Geração das Curvas de Nível a Partir do MDT

Nesta pesquisa, utilizou-se da tecnologia do MDT para a geração das curvas de nível da área pesquisada, pois conforme fora explicado anteriormente, o MDT é extremamente preciso, desde que sejam respeitadas todas as etapas de cálculo anteriormente citadas. Com isso, o mapa topográfico gerado a partir do MDT, representará de forma mais fiel o terreno estudado (USACE, 1990), conforme pode ser visto na Figura 5.26.

Ainda de acordo com o ilustrado na Figura 5.26, as curvas de nível ou isolinhas são linhas curvas fechadas formadas a partir da interseção de vários planos horizontais com a superfície do terreno (USACE, 1990). Cada uma destas linhas, pertencendo a um mesmo plano horizontal tem, evidentemente, todos os seus pontos situados na mesma cota altimétrica, ou seja, todos os pontos estão no mesmo nível.

Os planos horizontais de interseção são sempre paralelos e equidistantes e a distância entre um plano e outro se denomina equidistância vertical. Segundo DOMINGUES (1979), a equidistância vertical das curvas de nível varia com a escala da planta e recomendam-se os valores da tabela abaixo.

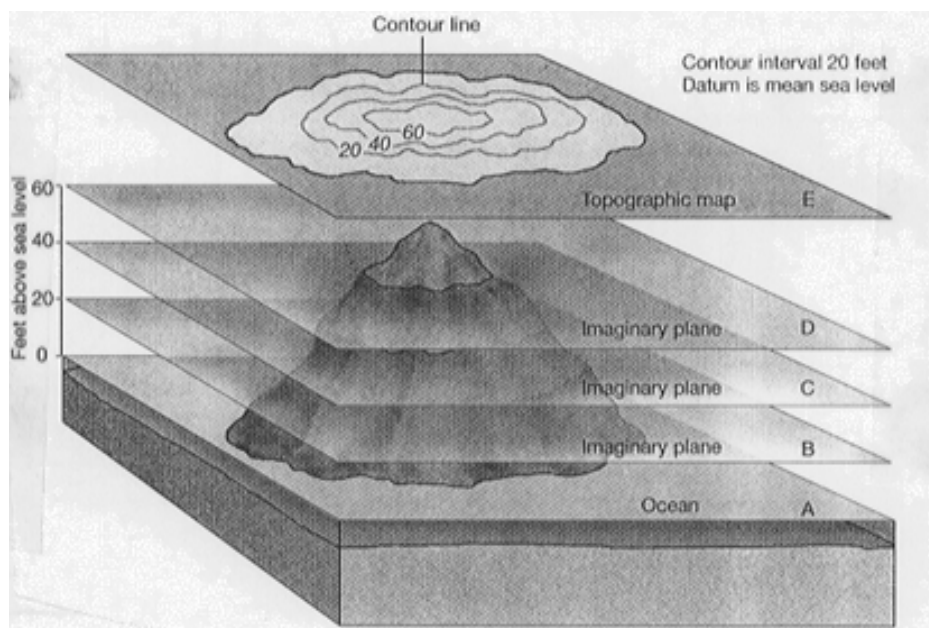


Figura 5.26: Vista em 3D da Representatividade das Curvas de Nível
 Fonte: USACE (1990)

a) Características das curvas de nível

As curvas de nível, segundo o seu traçado, são classificadas em:

- Mestras: geralmente são todas as curvas múltiplas de 5 ou 10 metros, porém nesta pesquisa, com o intuito de ser mais preciso no cálculo da profundidade dos defeitos encontrados, adotou-se 5 centímetros;
- Intermediárias: todas as curvas múltiplas da equidistância vertical, excluindo-se as mestras. Para este trabalho esta equidistância vertical é de 1 centímetro;
- Meia-equidistância: utilizadas na densificação de terrenos muito planos.

5.3.20 Avaliação das Áreas de Figuras Planas

Como descrito anteriormente, de posse da planta topográfica, deu-se início aos estudos que avaliaram as áreas dos defeitos encontrados durante a coleta de dados

topográficos de campo. A avaliação de áreas de figuras planas fez parte deste estudo preliminar e tem como objetivo informar quais as áreas aproximadas envolvidas por um determinado tipo de defeito dentro de uma zona projetada. Dos métodos analíticos conhecidos, sem dúvida, o mais empregado para a avaliação de áreas de figuras planas é o de Gauss.

Segundo DOMINGUES (1979) a área de uma superfície plana limitada por uma poligonal fechada pode ser determinada analiticamente quando se conhecem as coordenadas ortogonais dos seus vértices.

a) Método de Gauss

Como na Figura 5.27 abaixo, o método de Gauss consiste em, dadas as coordenadas (X,Y) de pontos de uma figura fechada qualquer, determinar a área desta figura seguindo os seguintes critérios:

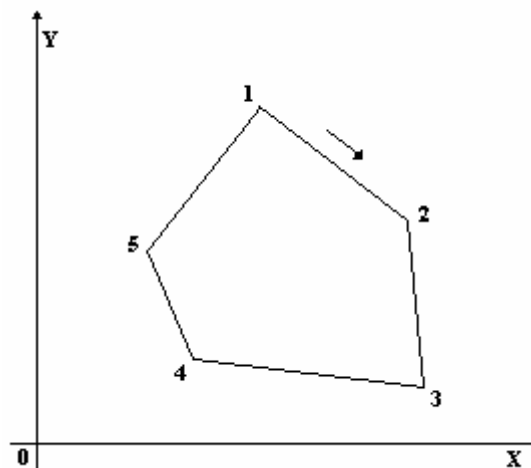


Figura 5.27: Cálculo de Área por Coordenadas

- As coordenadas do ponto de partida e de chegada devem ser as mesmas $X_1 = X_n$ e $Y_1 = Y_n$;
- Percorrendo a poligonal no sentido horário, somam-se as ordenadas (SY) dos pontos, aos pares, ou seja, de duas em duas;

- Na seqüência, porém em sentido contrário, subtraem-se as abscissas (DX) dos pontos, também aos pares;
- O resultado de cada soma e subtração, para um mesmo ponto, são multiplicados entre si (SY.DX);
- Somam-se, algebricamente, todos os produtos encontrados (S(SY . DX));
- A área final é dada pela seguinte relação:

$$2S = \sum_1^n (Y_{i+1} + Y_i)(X_{i+1} - X_i) \quad (5.24)$$

Para esta pesquisa, calculou-se a área de cada defeito e a área da zona topográfica em que este defeito está inserido, com isso pode-se avaliar qual a significância deste defeito dentro da zona topográfica em que esteja inserido. Procurou-se ainda, saber quais os parâmetros (área ou comprimento) do defeito têm significância na qualidade de rolamento do tráfego.

5.4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

5.4.1 Introdução

Conforme definido anteriormente, as principais variáveis que influenciam na deterioração de vias não pavimentadas são: a pluviometria incidente na via, o tráfego, as características geotécnicas dos solos e o relevo (topografia do terreno). Desta forma, os dados aqui apresentados fundamentam a metodologia de modelagem de desempenho sugerida por este trabalho de mestrado.

5.4.2 A Pluviometria Incidente e o Tráfego Atuante na Área de Estudo

Devido ao fato de que a área estudada tinha pouco mais de 2 km de extensão, considerou-se que tanto a pluviometria quanto o tráfego foram constantes em toda a sua extensão. A precipitação pluviométrica para o período de estudo em todo o ano de 2001 foi de 946,20 mm para a Região do Litoral de Fortaleza que, para a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) é toda a região metropolitana de Fortaleza. Este dado foi coletado no *site* da FUNCEME, no dia 21 de Julho de 2003. Durante os levantamentos topográficos fez-se uma contagem de tráfego na área estudada, cujo valor foi de aproximadamente 47 veículos dia. O tráfego contado era composto de carros particulares, camionetas (tipo D-20 e F-1000), caminhões pequenos e médios e caçambas.

5.4.3 O Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico realizado para esta pesquisa ocorreu nos seguintes meses do ano de 2002: Janeiro, Julho, Setembro e Novembro. A princípio o referido levantamento seria realizado a cada dois meses; porém, nos meses de Março e Maio, do ano de 2002, não puderam ser realizados, devido ao fato de que, nos períodos previstos para a realização dos levantamentos, tanto em Março quanto em Maio, ocorreram chuvas intensas de inverno.

Em cada levantamento topográfico realizado, foram coletados, em média, 2.500 pontos topográficos, perfazendo um total de aproximadamente 10.000 pontos topográficos que, posteriormente, foram georeferenciados. Para uma melhor execução e detalhamento dos estudos realizados para esta pesquisa, optou-se por dividir a área estudada em três poligonais, doravante denominadas de AQZ 01, AQZ 02 e AQZ 03, conforme pode ser visto no esboço na Figura 5.28.

Para a realização dos levantamentos topográficos foi utilizada uma estação total da marca Topcon, modelo GTS 229 para a coleta dos pontos topográficos. Após o término da coleta, esses dados foram descarregados no computador diretamente no software de análise de dados topográficos, o Sistema Topograph 98 SE, onde foram

geradas cadernetas topográficas completas dos levantamentos realizados (ver exemplo no ANEXO 1).

Com as cadernetas completas descarregadas, calcularam-se então as poligonais geradas pelos levantamentos. Este cálculo foi baseado nos seguintes princípios básicos (ABNT, 1994):

- a) Ordem dos levantamentos: considerando a finalidade dos levantamentos topográficos realizados, a densidade de informações a serem representadas e a exatidão necessária a cada finalidade, a classe dos levantamentos realizados por este trabalho de pesquisa foi o levantamento Planialtimétrico Cadastral Primeira Ordem, I PAC;
- b) Este tipo de levantamento, I PAC, baseia-se em poligonais Planimétricas de Terceira Ordem, III P. Cujos métodos de medição angular ocorrem através de duas séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical, com Teodolito de Classe II. Já o método de medição linear ocorre através de leituras recíprocas (vante e ré) com Distanciômetro Eletrônico de Classe I. Nesta pesquisa a precisão de medição, tanto angular como linear, da estação total utilizada é muito maior do que a exigência mínima ditada em norma (ABNT, 1994). Ainda segundo a ABNT (1994), o Erro Relativo Médio para esta classe de levantamento (I PAC) é de no mínimo 1:100.000, ou seja, admite-se um erro máximo de 1 mm a cada 100 m;
- c) O ajuntamento das poligonais e o estabelecimento das tolerâncias de fechamento obedeceram ao prescrito em norma (ABNT, 1994).

ESBOÇO DA LOCALIZAÇÃO E A CLASSIFICAÇÃO
H. R. B. DAS ZONAS GEOTÉCNICAS
(SEM ESCALA)

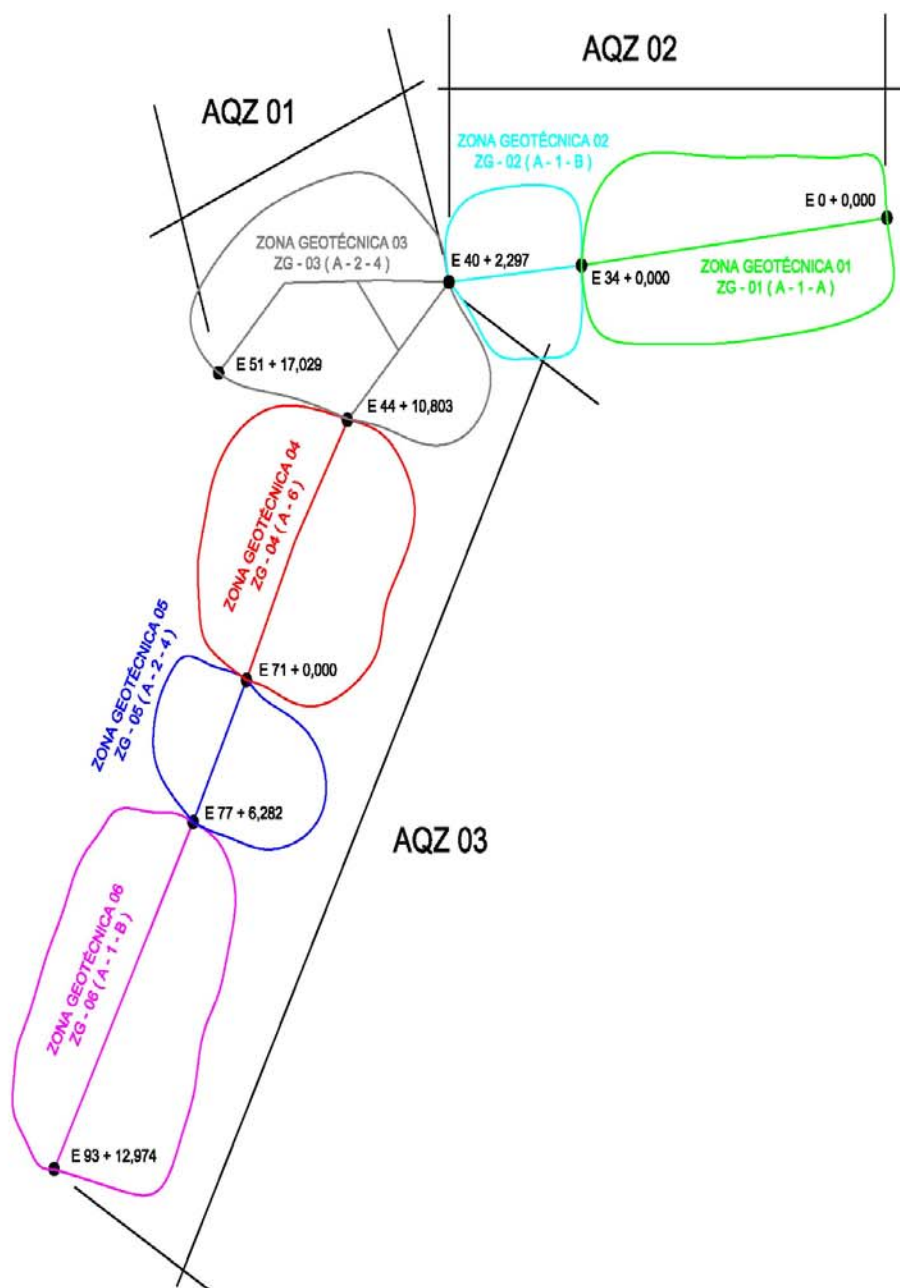


Figura 5.28: Esboço da Localização das Poligonais e Zonas Geotécnicas

As planilhas de fechamento de todas as poligonais geradas assim como as tolerâncias de fechamento adotadas por este trabalho de pesquisa estão apresentadas no ANEXO 2.

O erro relativo médio encontrado nas poligonais foi de 1:3.053.827, ou seja, obteve-se um erro médio de 1 (um) mm a cada 3,054 km de levantamento, que é bem inferior ao admitido por norma (aproximadamente 30 vezes menor).

Após o fechamento das poligonais, calcularam-se as coordenadas dos pontos irradiados, conforme exemplificado no ANEXO 3.

De posse das coordenadas dos pontos de estação das poligonais e dos pontos irradiados, gera-se então o Modelo Digital do Terreno (MDT) e o Modelo Digital dos Defeitos (MDD) em malha triangular, para posterior geração das curvas de nível do terreno, sendo estas equidistantes de 1 (um) cm. Todo este processo é ilustrado no desenho do ANEXO 4.

5.4.4 O Levantamento Geotécnico

Com a inspeção visual notou-se que a ocorrência de diversos tipos de solos na área estudada. Com base nisso, realizou-se um levantamento tátil-visual desses materiais encontrados, tendo como resultado uma pré-qualificação e a locação do início e fim para cada tipo de solo encontrado. Fez-se ainda, um levantamento geotécnico da área estudada, e para tal, coletou-se material geotécnico suficiente para cada furo de sondagem executado (aproximadamente 50 kg) para fins de ensaios de caracterização para posterior classificação geotécnica (classificação HRB).

Nesta pesquisa o método escolhido para a classificação geotécnica foi o do *Highway Research Board* (HRB). A razão para a escolha deste método foi a simplicidade e a sua difusão no meio técnico. É importante ressaltar que o referido método de classificação tem suas limitações de aplicabilidade na classificação geotécnica de solos brasileiros. Foram realizados os seguintes ensaios geotécnicos de laboratório para fins de classificação HRB: Limites de Consistência e Análise Granulométrica sem Sedimentação.

Associando-se a classificação HRB obtida com a localização dos pontos onde se iniciavam e finalizavam as ocorrências de um mesmo tipo de solo, eram delimitadas então, as áreas com mesmo comportamento geotécnico. Áreas estas simplesmente nomeadas Zonas Geotécnicas (ZG), para esta pesquisa de mestrado. Um esboço geral com a localização das seis Zonas Geotécnicas foi apresentado na Figura 5.27. O estaqueamento de cada ZG considerada e de seu respectivo “*grade*” encontram-se no ANEXO 5.

5.4.5 As Zonas Topográficas (ZT's)

Em cada ZG ocorrem variações da inclinação longitudinal do eixo estradal, ou seja, devido ao corpo estradal de uma via não pavimentada acompanhar a topografia do terreno por onde a mesma atravessa, naturalmente haverá variações nos valores das suas rampas longitudinais. Por isso, surgiu a necessidade de diminuir-se ao máximo a influência da variação dos valores das rampas longitudinais. Definiu-se, a partir daí, para cada comprimento de rampa de inclinação constante, um trecho de estudo, denominado Zona Topográfica (ZT). O estaqueamento das 29 zonas topográficas encontradas na área de estudo encontra-se apresentado no ANEXO 5.

5.4.6 Modelagem de Desempenho

O modelo de desempenho proposto por esta pesquisa, tem como base o cálculo dos seguintes índices:

- a) Grau de Severidade Individual do Defeito (GSID): este grau é determinado em função do cálculo da profundidade de cada tipo de defeito cadastrado. Com a profundidade do defeito calculada, o grau de severidade é obtido consultando-se a tabela de severidade correspondente ao tipo de defeito;
- b) Severidade Média por Zona Topográfica (SMZT): esta severidade é obtida da média aritmética simples do GSID por tipo de defeito e para todos os defeitos;

- c) Densidade Superficial Relativa de cada tipo de defeito por Zona Topográfica (DSRZT): esta densidade é o quociente entre a soma das áreas ou comprimentos de cada tipo de defeito pela área total ou comprimento total da zona topográfica em estudo;
- d) Índice de Severidade Relativa por tipo de defeito na Zona Topográfica (ISRZT): este índice é o produto entre a SMZT e a DSRZT;
- e) Índice de Condição da Zona Topográfica (ICZT): este índice é o maior dos ISRZT calculados na zona topográfica em estudo;
- f) Índice de Serventia da Zona Topográfica (ISZT): este índice é calculado subtraindo-se da serventia máxima possível o ICZT ($ISZT = 3 - ICZT$).

A área de estudo é composta por 29 zonas topográficas. Para cada zona topográfica foi feita uma planilha de cálculo, dos índices anteriormente citados, para cada tipo de defeito cadastrado durante os levantamentos topográficos realizados, além da respectiva modelagem de desempenho. Um exemplo desta planilha de cálculo encontra-se disponível no ANEXO 6, exemplificada pela Zona Geotécnica 02 e pela Zona Topográfica 10. De forma análoga, no ANEXO 7 está apresentando dois exemplos de gráficos resultantes das planilhas de modelagem de previsão de desempenho.

5.4.7 Análise das Equações de Desempenho em Função dos Valores de Rampa Longitudinal, do Tipo de Material e da Eficiência dos Equipamentos de Drenagem

Foram obtidos neste trabalho os seguintes tipos de equações de desempenho: 18 equações de reta e 11 equações parabólicas, perfazendo um total de 29 equações, uma equação para cada uma das 29 zonas topográficas consideradas e que compõem a área de estudo deste trabalho. De acordo com a literatura técnica, o provável modelo matemático de uma curva de desempenho é uma parábola. As equações parabólicas obtidas corroboram com a afirmação anterior. No entanto, as 18 equações de retas

obtidas constituem casos especiais. Ambas as equações serão analisadas em itens posteriores.

a) Equação Quadrática

A equação quadrática ou do segundo grau é uma equação do tipo:

$$Y = A.x^2 + B.x + C \quad (5.25)$$

Onde A, B e C são coeficientes da equação e têm propriedades geométricas distintas dentro da equação. Estas propriedades são:

- a) O coeficiente A é o coeficiente de “abertura” da equação, ou seja, o quanto a curva parabólica é suave ou não. Com isso quanto mais próximo de zero for este valor, mais suave é a curva e, por conseqüência, o trecho em estudo deteriora-se mais lentamente. Da mesma forma pode-se dizer que quanto mais se distanciar de zero este coeficiente, menos suave será a curva e, por conseqüência, o trecho em estudo se deteriorará mais rapidamente. O sinal negativo do coeficiente A significa que a concavidade da curva será para baixo. Quando for sinal positivo, a concavidade está para cima;
- b) O coeficiente B representa o quanto o ponto de valor máximo da curva está transladado em relação ao eixo das ordenadas (eixo Y), ou seja, é a distância horizontal (coordenada X) do ponto de valor máximo. Quando o valor do coeficiente B for negativo, a coordenada X será positiva; quando for positivo, a coordenada X será negativa;
- c) O coeficiente C representa onde a curva parabólica interceptará o eixo das ordenadas (eixo Y). Quando o valor do coeficiente C for positivo, a coordenada Y será positiva; quando for negativo, a coordenada Y será negativa, representando o maior índice de serventia obtido pelo levantamento executado.

b) Zona Geotécnica 1 (ZG – 01)

Na ZG – 01 ocorreu a predominância de um tipo de defeito em toda a sua extensão; no caso, o defeito foi Seção Transversal Inadequada, greide “encaixado”, como pode ser visto na Figura 5.29. Este fato faz com que a ocorrência dos outros tipos de defeito não influenciem no cálculo da equação, que representa a modelagem de desempenho do trecho em estudo. Devido a esse motivo, a equação parabólica transforma-se em uma equação de reta sempre constante e igualando-se ao valor de ISZT do trecho em estudo; no caso, igual a 2 (dois).



Figura 5.29: Vista de Seção Transversal Inadequada (seção “enterrada”)

A Tabela 5.7 mostra os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa longitudinal de cada zona topográfica para a Zona Geotécnica 1 (ZG – 01).

Tabela 5.7: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 01.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG - 01	ZT - 01	-5,4412%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 02	-0,2070%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 03	2,9450%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 04	-0,7400%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 05	-3,1719%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 06	-0,9175%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 07	-3,9714%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 08	-1,4263%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 09	-0,4650%	0,0000	0,0000	2,0000

c) Zona Geotécnica 2 (ZG – 02)

A ZG – 02 possui apenas uma zona topográfica, devido ao trecho apresentar uma declividade longitudinal praticamente constante. Não havendo, entretanto, a predominância de um só tipo de defeito. Sua seção transversal tem abaulamento suficiente para escoar sem dificuldades a água advinda da precipitação pluviométrica, conforme pode ser visto na Figura 5.30. O tipo de solo presente no subleito estradal, nesta zona geotécnica, foi classificado pelo HRB como A-1-b. A Tabela 5.8 mostra os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa da zona topográfica 10 (ZT – 10).

Tabela 5.8: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 02.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG - 02	ZT - 10	-0,4514%	-0,0141	0,0086	2,7622



Figura 5.30: Fotografia Tirada Logo Depois da Chuva, na ZT - 10

Analisando os coeficientes da Tabela 5.8, tem-se que:

- a) O coeficiente A é negativo, com isso a parábola tem concavidade voltada para baixo. Seu valor é pequeno, fazendo com que a curva parabólica seja suave, isso faz com que a degradação seja lenta, neste caso levaria aproximadamente 8,5 meses para chegar a um ISZT de 1,5;
- b) O coeficiente B é pequeno, porém positivo, o que significa que o ponto de maior serventia (ISZT) foi anterior ao primeiro levantamento topográfico, feito em janeiro de 2002;
- c) O coeficiente C é o ponto onde a curva intercepta o eixo Y e como B está bem próximo ao eixo Y, este valor de C (2,7622) está posicionado entre o ISZT máximo da curva e o ISZT obtido no mês de janeiro de 2002 (2,7567).

d) Zona Geotécnica 3 (ZG – 03)

Na ZG – 03 existem alguns problemas localizados nos dispositivos de drenagem, problemas estes causados pela invasão da vegetação lindeira no corpo estradal. Este fato permite que haja o escoamento no sentido longitudinal da água proveniente da precipitação pluviométrica, e por conseqüência, deste escoamento ocorrerá o carreamento de finos, erodindo lentamente o leito estradal (Figura 5.31). A Tabela 5.9 mostra os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa longitudinal de cada zona topográfica para a zona geotécnica 3 (ZG – 03).

Tabela 5.9: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 03.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG – 03	ZT - 11	-0,0850%	-0,0226	0,0723	2,6932
	ZT - 12	-3,7685%	-0,0230	0,0769	2,6982
	ZT - 13	-0,0796%	-0,0213	0,0600	2,7213
	ZT - 14	1,0575%	-0,0227	0,0733	2,6794



Figura 5.31: Escoamento Longitudinal da Água Devido à Invasão do Corpo Estradal pela Vegetação Lindeira

Analisando os coeficientes da Tabela 5.9 para as zonas topográficas em questão, tem-se que:

- a) Os coeficientes A são negativos, com isso as parábolas têm a concavidade voltada para baixo. Seus valores são pequenos e com pequena variação entre as zonas topográficas, fazendo com que as curvas parabólicas sejam suaves e muito próximas umas das outras, isso faz com que a degradação seja lenta, neste caso levaria um pouco mais que 8 (oito) meses para chegar a um ISZT de 1,5;

- b) Os coeficientes B são pequenos, porém positivos, o que significa que os pontos de maior serventia (ISZT) foram anteriores ao primeiro levantamento topográfico, realizado em janeiro de 2002;
- c) Os coeficientes C são os pontos onde as curvas interceptam o eixo Y e, como os coeficientes B estão bem próximos ao eixo Y, estes valores de C estão posicionados entre os ISZT's máximos das curvas e os ISZT's do mês de janeiro de 2002.

e) Zona Geotécnica 4 (ZG – 04)

Na ZG – 04, os problemas localizados nos dispositivos de drenagem são causados pela invasão do corpo estradal da vegetação lindeira, agravando-se devido ao fato de que a vegetação fica cada vez mais densa e que o tipo de solo (A-6), dificulta sua infiltração. O tipo de solo observado em campo contém cerca de 20% de material argiloso em sua composição granulométrica, dificultando ainda mais a drenagem, conforme apresentado na Figura 5.32.

A Tabela 5.10 apresenta os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa longitudinal, para a zona geotécnica 4 (ZG – 04) nas suas zonas topográficas.

Tabela 5.10: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 04.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG - 04	ZT - 15	-1,0900%	-0,0327	0,0988	2,4424
	ZT - 16	0,7800%	-0,0294	0,0650	2,5044
	ZT - 17	-1,5117%	-0,0323	0,0967	2,4656
	ZT - 18	0,3400%	-0,0325	0,0950	2,4775
	ZT - 19	1,0625%	-0,0327	0,0983	2,4544
	ZT - 20	6,3200%	0,0000	0,0000	1,0000
	ZT - 21	-0,3650%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 22	-6,5610%	0,0000	0,0000	1,0000



Figura 5.32: Empoçamento de Água Devido a Densificação da Vegetação e ao Tipo de Material Geotécnico que Contém Fração Argilosa

Analisando os coeficientes da Tabela 5.10, para as zonas topográficas em questão, tem-se que:

- a) Os coeficientes A são negativos, com isso as parábolas têm a concavidade voltada para baixo. Seus valores são pequenos e com pequena variação entre as zonas topográficas, fazendo com que as curvas parabólicas sejam suaves e muito próximas umas das outras, isso faz com que a degradação seja lenta, neste caso levaria um pouco mais que 6 (seis) meses para chegar a um ISZT de 1,5;
- b) Os coeficientes B são pequenos, porém positivos, o que significa que os pontos de maior serventia (ISZT) foram anteriores ao primeiro levantamento topográfico, realizado em janeiro de 2002;
- c) Os coeficientes C são os pontos onde as curvas interceptam o eixo Y e como os coeficientes B estão bem próximos ao eixo Y, estes valores de C estão

posicionados entre os ISZT's máximos das curvas e os ISZT's do mês de janeiro de 2002.

Nas zonas topográficas ZT – 20, ZT – 21 e ZT - 22, ocorrem a predominância de um mesmo tipo de defeito, no caso o defeito seria Seção Transversal Inadequada (greide “encaixado”), em toda a sua extensão, como pode ser visto na Figura 5.33. No caso apresentado nesta figura, a vegetação lindeira protege o “pé do corte” da seção “encaixada” contra a erosão causada pelo escoamento da água. Com isso, a água é forçada a escoar no corpo estradal causando o carreamento de finos, com conseqüente erosão do leito estradal. É importante observar, que neste caso, a rampa longitudinal funciona como agente catalisador do processo de erosão.



Figura 5.33: Erosão Causada pelo Escoamento Longitudinal da Água

Nos casos onde o grau de “encaixamento” da seção transversal é grande, a água proveniente da precipitação pluviométrica, além de erodir, carrega finos do leito estradal, erode intensamente as trilhas de roda originárias da passagem do tráfego (ver Figura 5.34) e carrega os finos do “pé do corte” (Figura 5.35). É importante ressaltar que essa erosão só ocorre no referido “pé do corte”, da seção “encaixada”, quando o mesmo não é protegido pela vegetação lindeira à via não pavimentada (Figura 5.35).



Figura 5.34: Erosão na Trilha de Roda Causada pela Ação do Escoamento da Água



Figura 5.35: Erosão do “Pé do Corte” da Seção “Encaixada”.

Devido ao fato de que existe a ocorrência, em toda a extensão das zonas topográficas ZT – 20, ZT – 21 e ZT – 22, do defeito Seção Transversal Inadequada, que no caso seria o “encaixamento” da seção transversal, tem-se que, a ocorrência dos outros tipos de defeito não influenciam no cálculo da equação que representa a modelagem de desempenho dos trechos em estudo. Devido a este motivo, a equação parabólica transforma-se em uma equação de reta sempre constante e igualando-se ao valor de ISZT dos referidos trechos.

f) Zona Geotécnica 5 (ZG – 05)

Na ZG – 05 existem problemas nos dispositivos de drenagem. Estes problemas são causados pela invasão do corpo estradal da vegetação lindeira e são agravados devido ao fato da vegetação lindeira ao corpo estradal ser densa, dificultando a drenagem da água proveniente da precipitação pluviométrica e formando “piscinas” na via não pavimentada nos períodos de inverno, provocando “atolamentos” de veículos, como pode ser observado na Figura 5.36. A Tabela 5.11 apresenta os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa longitudinal de cada zona topográfica para a zona geotécnica 5 (ZG – 05).



Figura 5.36: Formação de “Piscinas” no Leito Estradal.

Tabela 5.11: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 05.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG - 05	ZT - 23	-0,7300%	-0,0330	0,1036	2,2250

Analisando-se os coeficientes da Tabela 5.11, tem-se que:

- d) O coeficiente A é negativo, com isso a parábola tem concavidade voltada para baixo. Seu valor é pequeno, fazendo com que a curva parabólica seja suave, isso faz com que a degradação seja lenta, neste caso levaria quase 7 (sete) meses para chegar a um ISZT de 1,5;
- e) O coeficiente B é pequeno, porém positivo, o que significa que o ponto de maior serventia (ISZT) foi anterior ao primeiro levantamento topográfico feito em janeiro de 2002;

O coeficiente C é o ponto onde a curva intercepta o eixo Y e como o coeficiente B está bem próximo ao eixo Y, o ISZT máximo da curva está posicionado entre o valor de C (2,2250) e o ISZT do mês de janeiro de 2002 (2,2956).

5.4.8 Zona Geotécnica 6 (ZG – 06)

Na ZG – 06, em toda a sua extensão, há predominância de um tipo de defeito, no caso o defeito seria Seção Transversal Inadequada (greide “encaixado”), como pode ser vista na Figura 5.37.

Este fato faz com que a ocorrência dos outros tipos de defeito não influenciem no cálculo da equação, que representa a modelagem de desempenho do trecho em estudo.

Devido a esse motivo, a equação parabólica transforma-se em uma equação de reta sempre constante e igualando-se ao valor de ISZT do trecho em estudo, no caso, igual a 2 (dois).

A Tabela 5.12 mostra os coeficientes da equação parabólica em função dos valores de rampa longitudinal de cada zona topográfica para a zona geotécnica 6 (ZG – 06).



Figura 5.37: Seção Transversal Inadequada (Seção “Encaixada”).

Tabela 5.12: Valores de Rampa Longitudinal (RL) e os Coeficientes da Parábola (A, B, C) de cada ZT para a ZG – 06.

ZG	ZT	RL	A	B	C
ZG - 06	ZT - 24	1,8800%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 25	-0,1850%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 26	-3,7450%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 27	0,2567%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 28	2,4363%	0,0000	0,0000	2,0000
	ZT - 29	-0,0212%	0,0000	0,0000	2,0000

5.5 CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO

5.5.1 Levantamento Topográfico

A utilização da estação total Topcon, modelo GTS 229, tanto agilizou a coleta, descarga e processamento dos pontos como incorporou precisão aos mesmos. O processamento dos pontos topográficos coletados foi realizado seguindo as orientações

da norma ABNT (1994). Conseguiu-se alcançar uma precisão média de levantamento de pouco mais de 1:3.000.000, ou seja, admitindo-se um erro máximo de 1 mm a cada 3 km. Esta precisão é 30 vezes maior do que a precisão mínima exigida para a classe de levantamento topográfico mais precisa, descrita na norma ABNT (1994), precisão esta de 1:100.000.

Devido ao fato de que a metodologia de levantamento topográfico aplicada para a coleta dos pontos por este trabalho ser muito precisa, não houve necessidade de se fazer uma análise estatística nos pontos topográficos coletados. Com isso, todos os levantamentos topográficos realizados foram considerados satisfatórios e puderam ser utilizados como base para toda a metodologia de modelagem de desempenho proposta para nesta dissertação.

É importante ressaltar que a utilização de equipamentos topográficos mecânicos (teodolito e nível) nos levantamentos topográficos é possível, mas é válido lembrar que, ao lançar mão desta metodologia de levantamento tradicional, haverá a conseqüente perda de precisão, o aumento no tempo de coleta e processamento dos dados de campo, e análises estatísticas dos dados processados (dados espaciais).

5.5.2 Levantamento Geotécnico

O levantamento geotécnico realizado na área pesquisada foi utilizado para dividir a área de estudo em zonas geotécnicas. As zonas geotécnicas foram admitidas como sendo aquelas onde ocorria a existência do mesmo tipo de material. Esta consideração permitiu que fossem adotadas como constantes as variáveis correspondentes às “características geotécnicas”, ou seja, o “tipo de solo” de uma determinada zona geotécnica, facilitando a análise do comportamento de determinados tipos de solos em relação à rampa longitudinal, com ou sem a presença de equipamentos de drenagem. Caso existisse a presença destes equipamentos, os mesmos poderiam ser verificados em termos de eficiência.

5.5.3 Os Coeficientes das Equações de Previsão de Desempenho

O coeficiente C, obtido das equações de desempenho, retrata, neste trabalho, um ponto de serventia menor que o máximo obtido da equação, o que é natural, pois o primeiro levantamento topográfico foi realizado em Janeiro de 2002, com a via já deteriorada devido à ação abrasiva do tráfego. O coeficiente B, neste trabalho, retrata que o ponto máximo de serventia foi anterior ao primeiro levantamento topográfico realizado. Pode-se concluir ainda que, mesmo sendo pequeno o valor absoluto do referido coeficiente, o mesmo não pode ser desprezado. Isto se deve ao fato que este valor representa de um a dois meses de antecedência.

O coeficiente A das equações de desempenho determina a velocidade com que um determinado trecho se deteriora com o passar do tempo. Quanto maior for o valor do coeficiente, maior será a velocidade de deterioração e vice-versa. As variáveis que mais influenciaram no processo de deterioração, obtidas neste Estudo, foram: os valores de rampa longitudinal e a presença ou não de equipamentos de drenagem.

5.5.4 A Influência da Drenagem no Processo de Deterioração

Verificou-se que a presença de dispositivos eficientes de drenagem na via faz com que o leito estradal se deteriore mais lentamente. Notou-se, também, que, quando a eficiência dos dispositivos de drenagem diminui, a respectiva velocidade de deterioração do trecho aumenta proporcionalmente. A ausência desses dispositivos faz com que o trecho se deteriore muito mais rapidamente.

O tipo de material geotécnico também influencia muito na drenagem, pois quanto maior a quantidade de material argiloso e/ou siltoso, nas camadas superficiais do leito estradal, maior será a dificuldade da água proveniente da precipitação pluviométrica se infiltrar no solo.

5.5.5 A Influência dos Valores de Rampa Longitudinal no Processo de Deterioração

O valor de rampa longitudinal funciona como catalisador no processo de deterioração. Quanto maior for o valor de rampa, mais rapidamente será deteriorado o trecho, pois, com isso, haverá o carreamento de finos e a conseqüente desagregação do solo. É importante observar que, para valores de rampa pequenos, a água encontra dificuldade de escoar superficialmente e, por conseqüência, infiltrando em quantidade maior, aumentando a umidade do solo. Se a referida umidade atinge valor elevado, qualquer que seja o ganho de umidade, haverá uma perda proporcional da resistência mecânica do solo, ou seja, o solo perderá capacidade de suporte tornando-se menos resistente e, como conseqüência, deteriorando-se mais rapidamente.

5.5.6 A Influência do Tipo de Material Geotécnico no Processo de Deterioração

É importante ressaltar que, dentre as diversas classificações de solos para fins rodoviários, destaca-se, por seu uso generalizado, a do *Highway Research Board* – HRB, que se baseia no conhecimento da granulometria, do Limite de Liquidez, do Índice de Plasticidade e do Índice de Grupo dos solos. Pela classificação HRB, os solos são classificados de uma forma geral em dois grupos, o dos materiais granulares com menos de 35% passando na peneira # n° 200 (0,074mm) e o dos materiais silto-argilosos, aqueles com mais de 35% passando na # n° 200 (0,074 mm). Por sua vez, estes dois grupos são subdivididos em 07 (sete) subgrupos: A-1 (fragmentos de pedra pedregulho e areia); A-3 (areia fina); A-2 (pedregulhos ou areais siltes ou argiloso); A-4 e A-5 (solos siltosos); A-6 e A-7 (solos argilosos), considerados respectivamente em ordem decrescente de comportamento como material para uso nos subleitos.

O comportamento do solo encontrado nas zonas geotécnicas ZG – 02 (A-1-B), ZG – 03 (A-2-4) e ZG – 04 (A-6) foi de acordo com o esperado para estes tipos de materiais, ou seja, tiveram comportamento respectivamente decrescente. É importante observar que as zonas geotécnicas ZG – 03 (A-2-4) e ZG – 05 (A-2-4) deveriam apresentar, pelo fato de ter a princípio o mesmo material, comportamentos semelhantes, o que não ocorreu.

Os comportamentos apresentados foram respectivamente decrescentes, o que se deve ao fato de que, na ZG – 03, foi notada a presença de dispositivos de drenagem superficial, fato este não ocorrido na ZG – 05. Conclui-se, então, que a simples falta de drenagem provoca a degradação do trecho com mais velocidade, considerando-se, ainda, semelhantes as variações do valor de rampa longitudinal nos referidos trechos anteriormente citados.

Devido ao fato de as zonas geotécnicas ZG – 01 (A-1-A) e ZG – 06 (A-1-B) apresentarem, em toda a sua extensão longitudinal, “greide encaixado” (seção transversal inadequada), ficou impossibilitado o cálculo correto da equação de desempenho de ambas as zonas. E, conseqüentemente a análise comparativa do comportamento entre as referidas zonas geotécnicas foi também impossibilitada, podendo-se admitir comportamento semelhante entre ambas.

5.5.7 A Influência no Processo de Deterioração Quando da Invasão da Vegetação Lindeira no Corpo Estradal

Devido à precipitação pluviométrica, ocorre um aumento natural da vegetação (gramíneas, folhagem, galhos, etc.). Com isso, a vegetação tende a invadir o corpo estradal e, por conseqüência, em alguns casos obstrui totalmente os já deficientes/inexistentes dispositivos de drenagem. Esta situação força o escoamento longitudinal na via, carreando finos, desagregando material e, por fim, acelerando o processo de deterioração da via.

5.5.8 A Influência da Precipitação Pluviométrica no Processo de Deterioração

Os trechos sem equipamentos de drenagem na área estudada apresentaram eficiência comprometida. Um dos diversos fatores (má conformação geométrica da via em alguns trechos) que podem ser apontados (em época de chuva impedem qualquer tipo de drenagem) como catalisadores do processo de deterioração. E em algumas situações esta má conformação ocasiona a interrupção total do tráfego.

A chuva, de uma maneira ou outra, provoca a deterioração mais acelerada da via, mas, quando existe no leito estradal uma drenagem pluvial eficiente, este processo torna-se mais lento.

É importante ressaltar que a conformação geométrica da via, tanto transversal como longitudinal associada a uma rede de drenagem eficiente, possibilitará, em qualquer época do ano - estação chuvosa ou seca, a trafegabilidade dos veículos sem interrupção de trechos da via.

5.5.9 A Influência do Tipo de Manutenção Realizada pelo Órgão Responsável nas Vias Não-Pavimentadas no Processo de Deterioração

Atualmente, o modelo de manutenção realizada nas vias não-pavimentadas pelos órgãos responsáveis, no caso dos municípios cearenses, as próprias prefeituras, é baseado na simples raspagem do leito estradal com o uso de motoniveladora e sem a reposição do material raspado. É importante ressaltar que o uso continuado desse modelo causará o “encaixamento” da seção transversal que, por si só, já é um grave defeito, causando repetidamente a aparição de outros defeitos, corrugações e buracos.

O modelo oneroso de gerenciamento (de manutenção de vias não-pavimentadas) anteriormente citado é alimentado, principalmente, pela falta de recursos humanos especializados no assunto, além dos recursos financeiros que, quando existem, são escassos. A ação conjunta desses fatores provoca um aumento desnecessário nos custos de transportes relacionado à manutenção dos veículos, ao aumento do tempo de viagem e ao conseqüente aumento no consumo de combustível.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES RELEVANTES

O procedimento de modelagem de desempenho, para estradas não pavimentadas, proposto e testado, nesta pesquisa é de fácil compreensão e simples aplicação, do ponto de vista técnico, mas se constitui das principais etapas contidas em qualquer outra metodologia de modelagem de desempenho. Segundo a literatura técnica, a modelagem de desempenho é o coração de um sistema de gerência que, bem ajustada à realidade local, serve de suporte à decisão em um Sistema de Gerência de Manutenção (SGM). É importante observar que um SGM é parte importante de um SGP.

Atualmente, já é evidente que a deterioração das estradas, tanto pavimentadas como não pavimentadas, significa uma parcela de atraso, muitas vezes de redução do ritmo no desenvolvimento econômico e social de alguns países e regiões. Isto se agrava, quando se levar em conta que, no futuro, suas infra-estruturas terão que ser refeitas, muitas vezes por negligência, outras, por gerência ineficiente.

É importante ressaltar que, embora o problema não pare na deterioração da infraestrutura, muitas vezes os usuários são obrigados a pagar anualmente um valor extra de custos adicionais pela simples operação de veículos. Isto ocorre devido às péssimas condições de conservação em que se encontram as superfícies de rolamento das vias, acarretando o aumento de consumo de combustível, maiores gastos na manutenção de veículos, etc.

As evidências demonstram que o sistema atualmente em vigor nos municípios do cearense e principalmente no município de Aquiraz, é incapaz de transformar a catastrófica tendência atual. Reconhecendo as suas deficiências na área de manutenção rodoviária, muitos órgãos responsáveis por essas manutenções iniciaram uma busca por respostas aos inúmeros problemas de gerenciamento, conservação e manutenção de estradas.

Ainda que a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) para estradas não pavimentadas não seja uma tarefa fácil, ela se faz urgente para a grande maioria dos municípios cearenses, que tratam de forma inadequada suas malhas rodoviárias não pavimentadas, tornando-as cada vez mais deterioradas e, por consequência, mais onerosos os serviços advindos de seus usos.

6.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo realizado por esta dissertação de mestrado está limitado à área do município de Aquiraz, mais precisamente onde há a ocorrência do tipo de solo encontrado pelo estudo que em nosso caso foi o Podzólico Vermelho Amarelo, cuja ocorrência no Município e no Estado é de aproximadamente 19% e 29%, respectivamente.

Deve-se lembrar que, a aplicação desse estudo em outros municípios do Estado do Ceará e que apresentem área com ocorrência do tipo de solo Podzólico Vermelho Amarelo, há a necessidade de se calibrar as equações de previsão de desempenho para a nova realidade encontrada neste(s) outro(s) município(s) cearense(s). Isto se deve ao fato de que, o método de previsão de desempenho para vias não pavimentadas (Método ALYNOMO) considera outras variáveis exógenas, além do tipo de solo, e que têm influência direta na perda serventia da estrada não pavimentada com o passar do tempo. Estas variáveis são:

- a) Pluviometria incidente na via não pavimentada e correspondente área de contribuição hídrica;
- b) Tráfego atuante na via;
- c) Relevo da região, ou seja, condicionantes geométricas da estrada não pavimentada (topografia da via);
- d) Topologia e densidade dos defeitos encontrados na estrada;
- e) Tipo de manutenção realizada pelo órgão gestor.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como o tempo de uma dissertação de mestrado é bastante curto para aprofundamentos no âmbito de soluções em gerência de pavimentos, por ser um processo que demanda anos de pesquisas, recomenda-se, então, que sejam realizados em novos estudos a respeito:

- a) Das curvas de desempenho quanto aos tipos de materiais e suas características geotécnicas de outras regiões, o que possibilitaria desenvolver curvas de desempenho próprias e adequadas a outras localidades;
- b) De testar e verificar o método de avaliação das condições da superfície de rolamento desenvolvido neste trabalho, procurando adequar rotinas de levantamentos topográficos, geotécnicos e pluviométricos de maneira mais simplificadas;
- c) De desenvolver correlações matemáticas entre os dados (topográficos, geotécnicos e pluviométricos) e aqueles coeficientes da curva de desempenho obtida;
- d) Da formatação e inclusão de um SGP para estradas não pavimentadas em um ambiente SIG, criando-se uma ferramenta mais poderosa para os tomadores de decisão utilizarem quando da aplicação dos recursos públicos destinados à manutenção e reabilitação da rede viária não pavimentada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1986), Particle Size Analysis of Soils, Standard AASHTO T 88 - 86, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- AASHTO (1986a), Moisture – Density Relations of Soils Using a 10 lb (4,54 kg) rammer and 18 in (45,7 cm) drop, Standard AASHTO T 180 - 86, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- AASHTO (1990), AASHTO Guidelines for Pavement Management Systems, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- ABNT (1982), Determinação da Umidade Higroscópica, Solos, Método de Ensaio, NBR 6457/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 3 p.
- ABNT (1984), Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio, NBR 7181/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 15 p.
- ABNT (1986), Ensaio de Compactação, Solos, Método de Ensaio, NBR 7182/86. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 10 p.
- ABNT (1994), Execução de Levantamento Topográfico, Procedimento, NBR 13133/94. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 35 p.
- ASTM (1978), Standard Moisture – density relations of soils and soil-aggregate mixtures using a 10 lb (4,54 kg) rammer and 18 in (45,7 cm) drop, D 1557-78, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

ASTM (1997), Standard Guide for Pavement Management Implementation, E 1889-97, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

ASTM (1998), Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils, D 422-98, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

ASTM (2000), Standard Guide for Network Level Pavement Management, E 1166-00, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

ASTM (2000a), Standard Test Methods for Amount of Materials in Soils Finer Than the N.º 200 (75-um) Sieve, D 1140-00, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

ASTM (2000b), Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2,700 kN-m/m³)), D 1557-00, American Society for Testing and Materials, ASTM Committee on Standards, West Conshohocken, USA.

BORGES, Alberto de Campos (1999). Topografia Aplicada à Engenharia Civil, Volume 01. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, São Paulo, Brasil.

BROTEN, M. (1996), Local Agency Pavement Management Application Guide, The Northwest Technology Transfer Center, Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, USA.

CORREIA, J. A. B.; NOBRE JÚNIOR, E. F.; MARCON, A. F. (2001), Sistema de Manutenção para Estradas Não-Pavimentadas, *In*: 33^a Reunião Anual de Pavimentação, Anais da 33^a RAPv, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

- CORREIA, J. A. B. (2003), Concepção de um Sistema de Gerência de Manutenção para Estradas Não-Pavimentadas com o uso de um Sistema de Informações Geográficas, Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- CUNHA, M. A.; MORENO, C. J. F.; SANTOS, A. R. (1982), Uma nova proposta para solução dos problemas das estradas vicinais, Congresso dos Municípios do Estado de São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 15 pp., Praia Grande, São Paulo, Brasil.
- D'ÁVILA, A. L. M. (1996), Bases de um sistema de gerência de estradas municipais do Estado do Rio Grande do Sul, Dissertação de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- DNER (1994a) – Coleta de Amostras Deformadas de Solos, Solos, Procedimento, DNER – PRO 003/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 4 p.
- DNER (1994b) – Preparação de Amostras de Solos para Ensaio de Caracterização, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 041/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 4 p.
- DNER (1994c) – Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 051/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 12 p.
- DNER (1994d) – Determinação do Teor de Umidade, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 213/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2 p.
- DNER (1994e) – Determinação do Limite de Liquidez (LL) – Método de Referência e Método Expedido, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 122/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 7 p.

- DNER (1994f) – Determinação do Limite de Plasticidade (LP), Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 082/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 3 p.
- DNER (1994g) – Compactação de Solos (Método A), Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 047/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 3 p.
- DNER (1994h) – Compactação de Solos (Método B), Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 048/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 3 p.
- DNER (1994i) – Compactação Utilizando Amostras Não Trabalhadas, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 129/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 7 p.
- DNER (1994j) – Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 162/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 7 p.
- DNER (1994k) – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas, Solos, Método de Ensaio, DNER – ME 049/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14 p.
- DNER (1996) – Manual de Pavimentação, Manual Técnico, DNER – MT 697/100. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 320 p.
- DOMINGUES, Fellipe A. A. (1979). Topografia e astronomia de posição. Editora McGraw-Hill do Brasil. São Paulo, São Paulo, Brasil.
- EATON, R. A.; BEAUCHAM, R. E. (1992), Unsurfaced Road Maintenance Management, US Army Corps of Engineers – USACE, Cold Regions Research & Engineering Laboratory – CRREL, Special Report 92–26, USA.

- EATON, R. A.; GERARD, S.; DATILLO, R. S. (1987), A Method for Rating Unsurfaced Roads, Transportation Research Record 1106, Volume 2, 34 – 42 pp., USA.
- ESPARTEL, Lélis (1987). Curso de topografia. Editora Globo. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- FHWA (1989), Federal-Aid Highway Program Manual, Volume 6: Engineering and Traffic Operations, Federal Highway Administration, Washington /D.C., USA.
- FONTENELE, H. B. (2001), Estudo para a adaptação de um método de classificação de estradas não pavimentadas às condições do município de São Carlos / SP, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- GARCIA, Gilberto J. e PIEDADE, Gertrudes C. (1978). Topografia aplicada às ciências agrárias. Livraria e Editora Nobel. São Paulo, São Paulo, Brasil.
- GEIPOT (1981), Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias, relatório final, Volume 7 – Estudo sobre a deterioração dos pavimentos, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Brasília, Brasil.
- GEIPOT (2001), Anuário Estatístico dos Transportes, Empresa brasileira de Planejamento de Transportes, Brasília, Brasil.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; UDDIN, W. (1997), Infrastructure Management, McGraw-Hill, New York, New York, USA.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994), Modern Pavement Management, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA.
- IPLANCE (1989), Atlas do Estado do Ceará, Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- IPLANCE (1997), Atlas do Estado do Ceará, Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

- IPLANCE (2000), Índice de Desenvolvimento dos Municípios, Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- IPLANCE (2003), URL: <http://www.iplance.ce.gov.br/arquivos/Anuario/2001/>, em 11 de Setembro de 2003, Fundação Instituto de Planejamento do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- LOCH, Carlos e CORDINI, Jucilei (1995). Topografia Contemporânea: Planimetria. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- MARCHETTI, Delmar e GARCIA, Gilberto (1977). Princípios de fotogrametria e fotointerpretação. Livraria e Editora Nobel. São Paulo, São Paulo, Brasil.
- MARCON, A. F. (1996), Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina, Tese de Doutorado, ITA, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- NOGUEIRA, João Baptista (1995). Mecânica dos Solos – Ensaio de Laboratório. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- ODA, S. (1995), Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- PDDU (2001), Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Prefeitura Municipal de Aquiraz, Aquiraz, Ceará, Brasil.
- QUEIROZ, C.; GAUTAM, S.(1992), Road Infrastructure and Economic Development – Some Economic Indicators, WPS 921, Western African Department and Infrastructure and Urban Development, The World Bank, Washington, D. C., USA.
- RIVERSON, J. D. N.; SINHA, K. C.; SCHOLER, C. F.; ANDERSON, V. L. (1987), Evaluation of Subject Rating of Unpaved County Roads in Indiana, Transportation Research Record 1128, 53 -61 pp., USA.

- SENÇO, Wlastermiler de (1997), Manual de Técnicas de Pavimentação, Volume I, Editora Pini, São Paulo, São Paulo, Brasil. 746 p.
- SHAHIN, M.Y. (1994). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Published by Chapman & Hall, New York, USA. 450 p.
- STANCATI, Gene; NOGUEIRA, João Baptista e VILAR, Orencio Monje (1981). Ensaio de Laboratório em Mecânica dos Solos. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.
- USACE (1982), Pavement Maintenance Management, TM 5-623, Technical Manual, United States Army Corps of Engineers, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., USA.
- USACE (1990), Topographic and Geodetic Surveying, TM 5-441, Technical Manual, United States Army Corps of Engineers, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., USA.
- USACE (1994), Topographic Surveying, EM 1110-1-1005, Engineer Manual, United States Army Corps of Engineers, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., USA.
- USACE (1995), Unsurfaced Road Maintenance Management, TM 5-626, Technical Manual, United States Army Corps of Engineers, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C., USA.
- VISSER, A. T. and HUDSON, W. R. (1983), Performance, Design and Maintenance Relations for Unpaved Low-Volume Roads, In: Third International Conference on Low-Volume Roads, Transportation Research Record 898, Volume 1, 164 – 174 pp., Washington, D. C., USA.
- VIVIANE, E. (1998), Utilização de um Sistema de informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais Não-Pavimentadas, Dissertação de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil.

GLOSSÁRIO

- GPS** Do inglês: *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global), consiste em um dispositivo eletrônico baseado em informações via satélite que se destina ao registro espacial de um ponto de medição local sobre a superfície da Terra.
- MDD** Modelo Digital dos Defeitos, consiste em uma tecnologia que tem a capacidade de gerar modelos gráficos tridimensionais dos defeitos a partir de dados representados como pontos de elevação com seus respectivos valores.
- MDT** Modelo Digital de Terreno, do inglês: *Digital Terrain Model – DTM*, consiste em uma tecnologia que tem a capacidade de gerar modelos gráficos tridimensionais de terreno a partir de dados representados como pontos de elevação com seus respectivos valores. Também conhecido como Modelo de Elevação Digital, do inglês: *Digital Elevation Model – DEM*.
- ISZT** Índice de Serventia por Zona Topográfica. Consiste em um índice de condição da superfície de rolamento para estradas não-pavimentadas, verificado por zona topográfica e tipo de defeito, considerando ainda a frequência com que os defeitos ocorrem no trecho analisado.

ANEXOS

ANEXO 1

EXEMPLO DE CADERNETA TOPOGRÁFICA

Universidade Federal do Ceará - UFC

Caderneta Completa: AQZ 03 – Setembro de 2002

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Estação	Descrição	HI	Norte	Este	Cota	Azimute
E01	MARCO 01	1,400				

Tipo	Nome	Descrição	AHD	AVD	HS	DI	DH
Ré	E00		0°00'01"	89°41'00"	1,600	19,2540	19,2540
Irradiado	1	S0	184°26'34"	89°14'18"	1,600	15,7020	15,7010
Irradiado	2	S0	188°53'37"	89°06'22"	1,600	11,7370	11,7360
Irradiado	3	S0	191°03'54"	89°01'53"	1,600	9,6600	9,6590
Irradiado	4	S1	171°56'18"	88°06'34"	1,600	6,3000	6,2970
Irradiado	5	S1	164°35'49"	88°37'48"	1,600	7,7480	7,7460
Irradiado	6	S1	160°44'53"	88°40'30"	1,600	9,0970	9,0950
Irradiado	7	S2	106°59'52"	87°28'11"	1,600	6,1030	6,0970
Irradiado	8	S2	112°35'52"	88°37'05"	1,600	7,1890	7,1870
Irradiado	9	S2	115°40'42"	88°23'14"	1,600	7,8770	7,8740
Irradiado	10	S2	117°27'45"	88°35'09"	1,600	8,6480	8,6460
Irradiado	11	S2	119°57'02"	88°20'04"	1,600	9,4750	9,4710
Irradiado	12	S3	103°12'07"	88°41'39"	1,600	11,5540	11,5510
Irradiado	13	S3	100°09'54"	88°42'40"	1,600	10,9320	10,9290
Irradiado	14	S3	96°48'02"	88°31'18"	1,600	10,6300	10,6270
Irradiado	15	S3	93°38'31"	88°51'28"	1,600	10,3930	10,3910
Irradiado	16	S3	91°22'15"	88°43'53"	1,600	10,1620	10,1600
Irradiado	17	S3	88°53'51"	88°11'38"	1,600	10,0150	10,0100
Irradiado	18	S3	85°59'42"	87°53'50"	1,600	9,7250	9,7190
Irradiado	19	S4	78°51'38"	88°40'21"	1,600	16,1280	16,1240
Irradiado	20	S4	80°32'50"	88°43'36"	1,600	16,3170	16,3130
Irradiado	21	S4	82°30'28"	88°58'09"	1,600	16,5010	16,4990
Irradiado	22	S4	85°01'54"	89°00'41"	1,600	16,5420	16,5400
Irradiado	23	S4	85°47'36"	88°49'46"	1,600	16,6070	16,6040
Irradiado	24	S4	90°58'35"	88°35'33"	1,600	17,1780	17,1730
Irradiado	25	S5	87°39'03"	88°40'58"	1,600	20,8300	20,8250
Irradiado	26	S5	85°55'12"	88°47'51"	1,600	20,6670	20,6630
Irradiado	27	S5	84°54'23"	88°54'25"	1,600	20,6390	20,6360
Irradiado	28	S5	83°03'35"	88°41'35"	1,600	20,5620	20,5570
Irradiado	29	S5	81°25'27"	88°50'00"	1,600	20,5690	20,5650
Irradiado	30	S5	79°53'35"	88°49'04"	1,600	20,5090	20,5050
Irradiado	31	S5	77°30'42"	88°38'13"	1,600	20,5320	20,5270
Irradiado	32	S6	77°58'39"	88°41'02"	1,600	27,9250	27,9180
Irradiado	33	S6	78°55'20"	88°46'30"	1,600	27,9230	27,9170
Irradiado	34	S6	81°03'09"	88°45'26"	1,600	27,8980	27,8920
Irradiado	35	S6	81°48'37"	88°42'16"	1,600	28,0180	28,0110
Irradiado	36	S6	83°23'35"	88°52'56"	1,600	28,0330	28,0280
Irradiado	37	S6	83°59'31"	88°51'25"	1,600	28,0930	28,0880
Irradiado	38	S6	85°51'45"	88°36'24"	1,600	28,1340	28,1260
Irradiado	39	S7	84°43'25"	88°40'31"	1,600	32,5810	32,5730

Universidade Federal do Ceará - UFC

Caderneta Completa: AQZ 03 – Setembro de 2002

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Tipo	Nome	Descrição	AHD	AVD	HS	DI	DH
Irradiado	40	S7	83°45'52"	88°46'30"	1,600	32,5830	32,5760
Irradiado	41	S7	82°58'40"	88°51'49"	1,600	32,5690	32,5630
Irradiado	42	S7	81°59'46"	88°47'27"	1,600	32,5920	32,5850
Irradiado	43	S7	81°10'39"	88°44'24"	1,600	32,5950	32,5880
Irradiado	44	S7	79°59'37"	88°43'09"	1,600	32,5470	32,5390
Irradiado	45	S7	78°30'36"	88°37'27"	1,600	32,5840	32,5750
Irradiado	46	S8	79°15'40"	88°36'53"	1,600	40,0680	40,0560
Irradiado	47	S8	82°00'12"	88°41'46"	1,600	39,9790	39,9680
Irradiado	48	S8	83°23'04"	88°46'23"	1,600	39,9770	39,9670
Irradiado	49	S8	85°44'51"	88°49'37"	1,600	39,9060	39,8970
Irradiado	50	S9	85°45'22"	88°52'39"	1,600	43,9700	43,9610
Irradiado	51	S9	82°45'29"	88°47'08"	1,600	44,1710	44,1610
Irradiado	52	S9	81°27'13"	88°45'53"	1,600	44,0960	44,0850
Irradiado	53	S9	79°49'43"	88°38'41"	1,600	44,3590	44,3460
Irradiado	54	S10	82°22'55"	88°51'03"	1,600	50,1330	50,1230
Irradiado	55	S10	83°56'37"	88°47'35"	1,600	49,5850	49,5740
Irradiado	56	S10	86°23'36"	88°46'43"	1,600	49,1690	49,1570
Vante	E02		92°45'00"	89°03'10"	1,600	59,7360	59,7280
Irradiado	57	PAN	187°48'43"	89°12'15"	1,600	13,3340	13,3330
Irradiado	58	PAN	185°21'42"	89°22'18"	1,600	13,8460	13,8450
Irradiado	59	PAN	182°17'11"	89°23'08"	1,600	14,4140	14,4130
Irradiado	60	PAN	179°05'18"	89°28'21"	1,600	14,4050	14,4050
Irradiado	61	PAN	176°28'22"	89°13'59"	1,600	14,4380	14,4370
Irradiado	62	PAN	170°32'15"	89°09'16"	1,600	10,9810	10,9800
Irradiado	63	PAN	173°18'45"	89°07'21"	1,600	10,0370	10,0360
Irradiado	64	PAN	178°34'41"	89°14'04"	1,600	9,9960	9,9950
Irradiado	65	PAN	175°55'15"	89°33'25"	1,600	10,8010	10,8010
Irradiado	66	PAN	178°08'02"	89°45'08"	1,600	11,2380	11,2380
Irradiado	67	PAN	174°58'00"	89°24'55"	1,600	11,5650	11,5650
Irradiado	68	PAN	177°45'36"	89°42'50"	1,600	11,3570	11,3570
Irradiado	69	PAN	178°14'41"	89°45'23"	1,600	11,2140	11,2140
Irradiado	70	PAN	85°43'49"	88°52'35"	1,600	16,8480	16,8450
Irradiado	71	PAN	85°33'40"	88°54'43"	1,600	15,2840	15,2810
Irradiado	72	PAN	84°56'27"	89°01'39"	1,600	15,2320	15,2300
Irradiado	73	PAN	83°06'27"	88°57'13"	1,600	15,2090	15,2070
Irradiado	74	PAN	81°34'56"	88°43'04"	1,600	15,2640	15,2600
Irradiado	75	PAN	81°39'17"	88°47'08"	1,600	17,0500	17,0460
Irradiado	76	PAN	83°07'54"	88°51'40"	1,600	17,2120	17,2090
Irradiado	77	PAN	85°13'36"	88°51'15"	1,600	17,4670	17,4640
Irradiado	78	PAN	84°22'11"	88°54'48"	1,600	16,8420	16,8390
Irradiado	79	PAN	83°54'42"	89°04'42"	1,600	16,2090	16,2070

ANEXO 2

EXEMPLO DE POLIGONAL LEVANTADA

Universidade Federal do Ceará - UFC

Poligonal: AQZ 01 – Janeiro de 2002

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Classe	Tipo	Nível Ref.	a	b	c	d
I PAC	1	100,0000	0°00'00"	0°00'02"	0,0000	0,0050

	Estação de Partida	Referência de Partida
Nome	E1	E0
Norte	9.559.355,8450	9.559.348,9340
Este	556.414,9990	556.432,9920
Cota	100,000	
Azimute	111°00'41"	
Distância	19,2746 m	

	Estação de Chegada
Nome	E4
Norte	9.559.378,2973
Este	556.240,6422
Cota	95,147

	Observados	Compensados
Perímetro	190,7847 m	190,7877 m

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular			
Relativo			
Linear	0,0000 m	0,0022 m(= c+dxL½)	
Eixo Norte	m	m	
Eixo Este	m		
Altimétrico	0,000 m	0,001 m (= 2 mm x K½)	
erD(Máximo)	1:6.859.981	1:50.436	
eAz	0°00'00"	48°42'16"	
eV	0,0000 m	0,0013 m	

Estação	Descrição	AH	Azimute	Norte	Este	Cota	Erro médio
E0				9.559.348,9340	556.432,9920		
			291°00'41"				
E1	MARCO 01	184°46'48"		9.559.355,8450	556.414,9990	100,000	
			295°47'29"				1:6.859.981
E2	Estação	147°30'50"		9.559.390,9883	556.342,2739	99,472	
			263°18'19"				1:7.814.189
E3	Estação	11°22'19"		9.559.378,6102	556.236,8182	95,143	
			94°40'38"				1:144.659.908
E4	Estação			9.559.378,2973	556.240,6422	95,147	

ANEXO 3

**EXEMPLO DE CADERNETA DE COORDENADAS DOS
PONTOS IRRADIADOS**

Universidade Federal do Ceará - UFC

Pontos Irradiados: AQZ 03 – Setembro de 2002

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Nome	Descrição	Norte	Este	Cota
E01	MARCO 01	9.559.355,8450	556.414,9990	100,000

Nome	Norte	Este	Cota	Azimute	AH	DH	Desnível
1	9.559.362,5931	556.400,8221	100,009	295°27'14"	184°26'33"	15,7010	0,0087
2	9.559.361,6961	556.404,8256	99,983	299°54'17"	188°53'36"	11,7360	-0,0169
3	9.559.360,9744	556.406,8145	99,963	302°04'34"	191°03'53"	9,6590	-0,0367
4	9.559.357,2561	556.408,8621	100,008	282°56'58"	171°56'17"	6,2970	0,0078
5	9.559.356,6020	556.407,2901	99,985	275°36'29"	164°35'48"	7,7460	-0,0148
6	9.559.356,1242	556.405,9083	100,010	271°45'33"	160°44'52"	9,0950	0,0104
7	9.559.351,0411	556.411,2446	100,069	218°00'32"	106°59'51"	6,0970	0,0694
8	9.559.350,6412	556.410,0419	99,973	223°36'32"	112°35'51"	7,1870	-0,0266
9	9.559.350,4438	556.409,2695	100,022	226°41'22"	115°40'41"	7,8740	0,0217
10	9.559.350,1130	556.408,5262	100,013	228°28'25"	117°27'44"	8,6460	0,0134
11	9.559.349,8798	556.407,6426	100,075	230°57'42"	119°57'01"	9,4710	0,0754
12	9.559.346,2929	556.408,5042	100,063	214°12'47"	103°12'06"	11,5510	0,0633
13	9.559.346,4944	556.409,3414	100,046	211°10'34"	100°09'53"	10,9290	0,0459
14	9.559.346,4456	556.410,0408	100,074	207°48'42"	96°48'01"	10,6270	0,0743
15	9.559.346,4011	556.410,6647	100,007	204°39'11"	93°38'30"	10,3910	0,0072
16	9.559.346,4504	556.411,1303	100,025	202°22'55"	91°22'14"	10,1600	0,0250
17	9.559.346,4332	556.411,5904	100,116	199°54'31"	88°53'50"	10,0100	0,1157
18	9.559.346,5510	556.412,1564	100,157	197°00'22"	85°59'41"	9,7190	0,1568
19	9.559.339,9597	556.412,2346	100,174	189°52'18"	78°51'37"	16,1240	0,1737
20	9.559.339,8628	556.411,7304	100,163	191°33'30"	80°32'49"	16,3130	0,1626
21	9.559.339,8031	556.411,1421	100,097	193°31'08"	82°30'27"	16,4990	0,0969
22	9.559.339,9491	556.410,4281	100,085	196°02'34"	85°01'53"	16,5400	0,0854
23	9.559.339,9500	556.410,1987	100,139	196°48'16"	85°47'35"	16,6040	0,1393
24	9.559.339,9211	556.408,5693	100,222	201°59'15"	90°58'34"	17,1730	0,2220
25	9.559.336,1149	556.408,3353	100,279	198°39'43"	87°39'02"	20,8250	0,2789
26	9.559.336,0776	556.408,9815	100,234	196°55'52"	85°55'11"	20,6630	0,2337
27	9.559.336,0002	556.409,3395	100,194	195°55'03"	84°54'22"	20,6360	0,1937
28	9.559.335,9048	556.410,0011	100,269	194°04'15"	83°03'34"	20,5570	0,2690
29	9.559.335,7625	556.410,5706	100,219	192°26'07"	81°25'26"	20,5650	0,2188
30	9.559.335,7102	556.411,1201	100,223	190°54'15"	79°53'34"	20,5050	0,2232
31	9.559.335,5447	556.411,9568	100,288	188°31'22"	77°30'41"	20,5270	0,2884
32	9.559.328,2699	556.410,6371	100,441	188°59'19"	77°58'38"	27,9180	0,4414
33	9.559.328,3465	556.410,1832	100,397	189°56'00"	78°55'19"	27,9170	0,3970
34	9.559.328,5690	556.409,1696	100,405	192°03'49"	81°03'08"	27,8920	0,4051
35	9.559.328,5324	556.408,7830	100,434	192°49'17"	81°48'36"	28,0110	0,4335
36	9.559.328,6981	556.408,0267	100,347	194°24'15"	83°23'34"	28,0280	0,3469
37	9.559.328,7145	556.407,7278	100,360	195°00'11"	83°59'30"	28,0880	0,3605
38	9.559.328,9299	556.406,8351	100,484	196°52'25"	85°51'44"	28,1260	0,4842
39	9.559.324,4926	556.406,1657	100,553	195°44'05"	84°43'24"	32,5730	0,5533
40	9.559.324,3462	556.406,6910	100,497	194°46'32"	83°45'51"	32,5760	0,4967
41	9.559.324,2477	556.407,1274	100,446	193°59'20"	82°58'39"	32,5630	0,4460
42	9.559.324,0961	556.407,6649	100,488	193°00'26"	81°59'45"	32,5850	0,4878

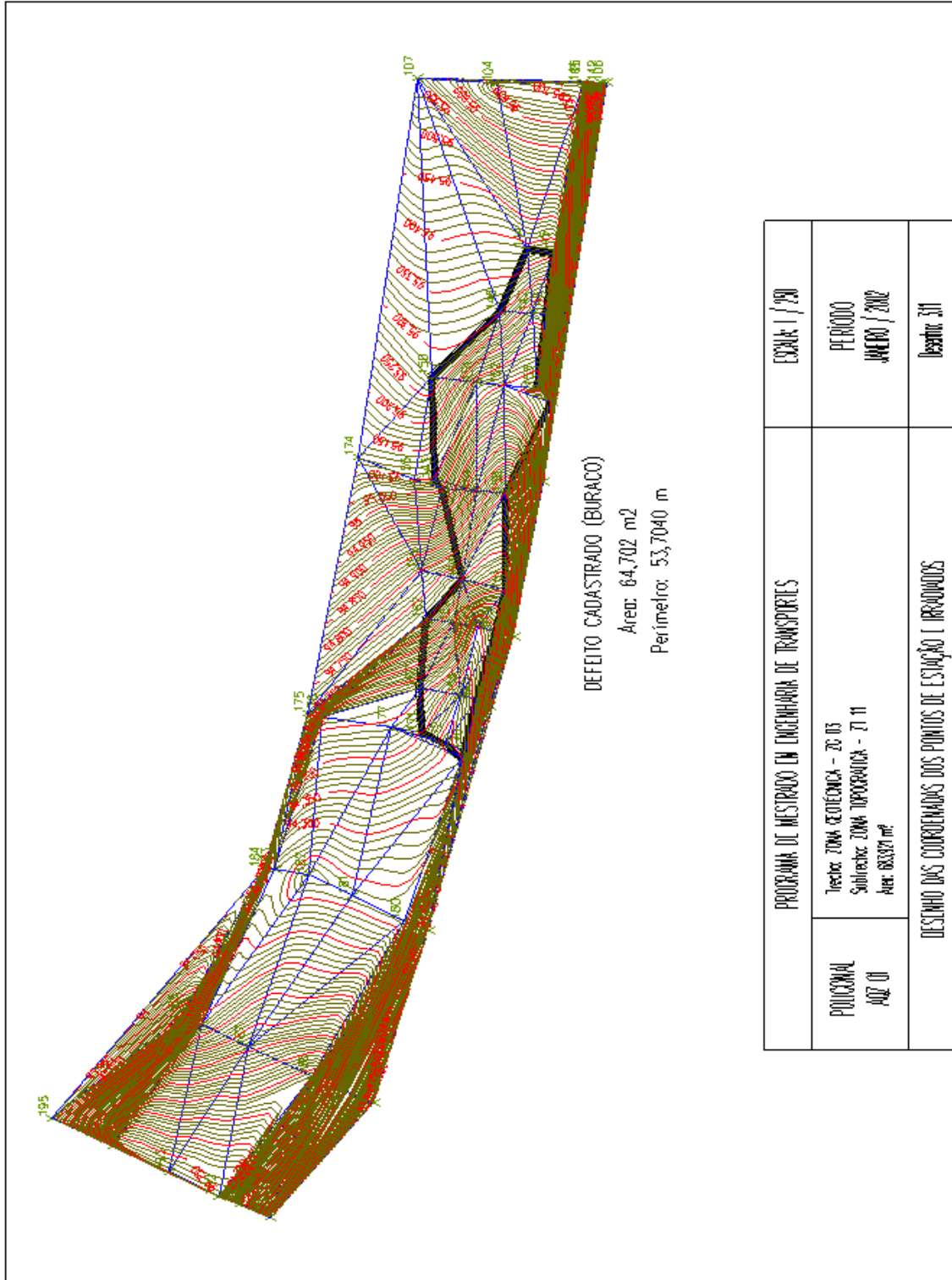
Universidade Federal do Ceará - UFC

Pontos Irradiados: AQZ 03 – Setembro de 2002

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Nome	Norte	Este	Cota	Azimute	AH	DH	Desnível
43	9.559.323,9916	556.408,1186	100,517	192°11'19"	81°10'38"	32,5880	0,5168
44	9.559.323,9044	556.408,7876	100,528	191°00'17"	79°59'36"	32,5390	0,5276
45	9.559.323,7187	556.409,6107	100,582	189°31'16"	78°30'35"	32,5750	0,5824
46	9.559.316,4310	556.407,8559	100,769	190°16'20"	79°15'39"	40,0560	0,7688
47	9.559.316,9037	556.405,9983	100,710	193°00'52"	82°00'11"	39,9680	0,7098
48	9.559.317,1329	556.405,0626	100,656	194°23'44"	83°23'03"	39,9670	0,6561
49	9.559.317,6425	556.403,4950	100,617	196°45'31"	85°44'50"	39,8970	0,6171
50	9.559.313,7530	556.402,3169	100,662	196°46'02"	85°45'21"	43,9610	0,6615
51	9.559.312,9531	556.404,4881	100,736	193°46'09"	82°45'28"	44,1610	0,7363
52	9.559.312,7991	556.405,4837	100,751	192°27'53"	81°27'12"	44,0850	0,7508
53	9.559.312,2903	556.406,6591	100,849	190°50'23"	79°49'42"	44,3460	0,8493
54	9.559.307,0852	556.403,3889	100,806	193°23'35"	82°22'54"	50,1230	0,8056
55	9.559.307,9501	556.402,2061	100,845	194°57'17"	83°56'36"	49,5740	0,8446
56	9.559.308,9386	556.400,2953	100,848	197°24'16"	86°23'35"	49,1570	0,8482
57	9.559.362,2729	556.403,3178	99,985	298°49'23"	187°48'42"	13,3330	-0,0148
58	9.559.361,9951	556.402,5950	99,952	296°22'22"	185°21'41"	13,8450	-0,0481
59	9.559.361,5454	556.401,7612	99,955	293°17'51"	182°17'10"	14,4130	-0,0454
60	9.559.360,7953	556.401,4713	99,933	290°05'58"	179°05'17"	14,4050	-0,0674
61	9.559.360,1824	556.401,2290	99,993	287°29'02"	176°28'21"	14,4370	-0,0067
62	9.559.358,0432	556.404,2413	99,962	281°32'55"	170°32'14"	10,9800	-0,0379
63	9.559.358,3279	556.405,2750	99,954	284°19'25"	173°18'44"	10,0360	-0,0463
64	9.559.359,1961	556.405,5825	99,934	289°35'21"	178°34'40"	9,9950	-0,0664
65	9.559.358,9907	556.404,6662	99,884	286°55'55"	175°55'14"	10,8010	-0,1165
66	9.559.359,5306	556.404,3826	99,849	289°08'42"	178°08'01"	11,2380	-0,1514
67	9.559.359,0285	556.403,8808	99,918	285°58'40"	174°57'59"	11,5650	-0,0820
68	9.559.359,4996	556.404,2461	99,857	288°46'16"	177°45'35"	11,3570	-0,1433
69	9.559.359,5432	556.404,4124	99,848	289°15'21"	178°14'40"	11,2140	-0,1523
70	9.559.339,7140	556.410,1467	100,130	196°44'29"	85°43'48"	16,8450	0,1304
71	9.559.341,1988	556.410,6405	100,090	196°34'20"	85°33'39"	15,2810	0,0902
72	9.559.341,2015	556.410,8133	100,059	195°57'07"	84°56'26"	15,2300	0,0585
73	9.559.341,0974	556.411,2895	100,078	194°07'07"	83°06'26"	15,2070	0,0778
74	9.559.340,9521	556.411,6718	100,142	192°35'36"	81°34'55"	15,2600	0,1416
75	9.559.339,2138	556.411,2614	100,161	192°39'57"	81°39'16"	17,0460	0,1614
76	9.559.339,1576	556.410,7941	100,142	194°08'34"	83°07'53"	17,2090	0,1421
77	9.559.339,0777	556.410,1156	100,149	196°14'16"	85°13'35"	17,4640	0,1493
78	9.559.339,6091	556.410,5327	100,119	195°22'51"	84°22'10"	16,8390	0,1194
79	9.559.340,1846	556.410,8254	100,061	194°55'22"	83°54'41"	16,2070	0,0607

ANEXO 4**EXEMPLO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DO MDT,
MDD E DAS CURVAS DE NÍVEL DO TERRENO E
CÁLCULO DE ÁREA (MÉTODO DE GAUSS)**



PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES		ESCALA: 1/250
POLICIONAL AQUZ 01	Tema: ZONA GEOMÉTRICA - 20.03 Subtema: ZONA TOPOGRÁFICA - 71.11 Área: 68337 m ²	PERÍODO JANEIRO / 2002
	DESENHO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE ESTAÇÃO E IRRAJADOS	Desenho: 311

Universidade Federal do Ceará - UFC

Cálculo de Área e Perímetro: Método de Gauss

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Índice	Norte	Este	Elemento	Azimute	Distância
173	9.559.381,9236	556.223,5445			
			Linha	102°31'45"	2,8782
169	9.559.381,2993	556.226,3542			
			Linha	103°12'11"	3,3581
165	9.559.380,5323	556.229,6235			
			Linha	100°30'29"	2,0314
161	9.559.380,1618	556.231,6209			
			Linha	90°06'11"	4,6543
158	9.559.380,1534	556.236,2752			
			Linha	113°01'38"	4,7451
E4	9.559.378,2973	556.240,6422			
			Linha	94°44'22"	0,6402
154	9.559.378,2444	556.241,2803			
			Linha	6°48'55"	0,6172
153	9.559.378,8572	556.241,3535			
			Linha	96°02'08"	3,5454
148	9.559.378,4845	556.244,8792			
			Linha	95°17'49"	2,9213
145	9.559.378,2148	556.247,7881			
			Linha	12°08'09"	1,0560
144	9.559.379,2472	556.248,0101			
			Linha	290°43'29"	3,2009
146	9.559.380,3799	556.245,0164			
			Linha	311°38'38"	4,1614
150	9.559.383,1451	556.241,9066			
			Linha	268°34'42"	4,9758
143	9.559.383,0217	556.236,9323			
			Linha	237°27'32"	0,5084
156	9.559.382,7482	556.236,5038			
			Linha	259°02'41"	4,4647
160	9.559.381,8997	556.232,1205			
			Linha	307°59'41"	2,3993
162	9.559.383,3767	556.230,2297			
			Linha	274°38'16"	3,3213
167	9.559.383,6453	556.226,9192			
			Linha	268°03'47"	2,1579
171	9.559.383,5724	556.224,7625			
			Linha	209°27'40"	1,0907
172	9.559.382,6227	556.224,2261			
			Linha	224°16'26"	0,9763
173	9.559.381,9236	556.223,5445			

Área: 64,702 m² - Perímetro: 53,704 m

ANEXO 5

**EXEMPLO DE ESTAQUEAMENTO DAS ZONAS
GEOTÉCNICAS (ZG's) E ZONAS TOPOGRÁFICAS (ZT's)**

Universidade Federal do Ceará - UFC

Traçado Horizontal: ZG 01 – ZT 01 à ZT 09

Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Estaca	Descrição	Progressiva	Norte	Este	Cota
0	INÍCIO da ZG 01 INÍCIO da ZT 01	0,000	9.559.081,1531	557.222,8925	116,598
1		20,000	9.559.088,1011	557.204,1382	115,397
1+17,725	PI1	37,725	9.559.094,2589	557.187,5169	114,313
2		40,000	9.559.095,0131	557.185,3708	114,172
3		60,000	9.559.101,6448	557.166,5023	113,014
3+2,688	PI2	62,688	9.559.102,5362	557.163,9660	112,883
4	FIM da ZT 01 INÍCIO da ZT 02	80,000	9.559.108,2445	557.147,6226	112,245
5		100,000	9.559.114,8393	557.128,7412	111,825
6		120,000	9.559.121,4342	557.109,8598	111,686
6+14,709	PI3	134,709	9.559.126,2842	557.095,9739	111,686
7		140,000	9.559.128,0159	557.090,9738	111,711
8		160,000	9.559.134,5612	557.072,0751	111,822
9	FIM da ZT 02 INÍCIO da ZT 03	180,000	9.559.141,1064	557.053,1764	112,038
10		200,000	9.559.147,6517	557.034,2778	112,748
11	FIM da ZT 03 INÍCIO da ZT 04	220,000	9.559.154,1970	557.015,3791	113,216
11+2,931	PI4	222,931	9.559.155,1562	557.012,6095	113,263
11+17,807	PI5	237,807	9.559.159,2949	556.998,3213	113,160
12	FIM da ZT 04 INÍCIO da ZT 05	240,000	9.559.159,9875	556.996,2401	113,068
13		260,000	9.559.166,3030	556.977,2634	112,209
14		280,000	9.559.172,6185	556.958,2867	111,395
15		300,000	9.559.178,9340	556.939,3100	110,781
15+3,026	PI6	303,026	9.559.179,8896	556.936,4387	110,697
16		320,000	9.559.185,3816	556.920,3779	110,238
17		340,000	9.559.191,8528	556.901,4538	109,617
18		360,000	9.559.198,3240	556.882,5296	108,894
18+15,509	PI7	375,509	9.559.203,3419	556.867,8552	108,419
19		380,000	9.559.204,9873	556.863,6761	108,334
19+8,958	PI8	388,958	9.559.208,2689	556.855,3408	108,165
20	FIM da ZT 05 INÍCIO da ZT 06	400,000	9.559.212,0260	556.844,9577	107,993
21		420,000	9.559.218,8312	556.826,1510	107,696
22	FIM da ZT 06 INÍCIO da ZT 07	440,000	9.559.225,6365	556.807,3444	107,626
23		460,000	9.559.232,4417	556.788,5378	107,188
23+3,675	PI9	463,675	9.559.233,6920	556.785,0822	107,087
24		480,000	9.559.238,1300	556.769,3718	106,614
24+19,923	PI10	499,923	9.559.243,5460	556.750,1992	105,919
25		500,000	9.559.243,5709	556.750,1263	105,917
26		520,000	9.559.250,0260	556.731,1966	105,040
27		540,000	9.559.256,4811	556.712,2670	104,109
27+9,688	PI11	549,688	9.559.259,6079	556.703,0974	103,583
28		560,000	9.559.263,1736	556.693,4215	103,020
29	FIM da ZT 07 INÍCIO da ZT 08	580,000	9.559.270,0892	556.674,6552	102,066

Universidade Federal do Ceará - UFC

Traçado Horizontal: ZG 01 – ZT 01 à ZT 09

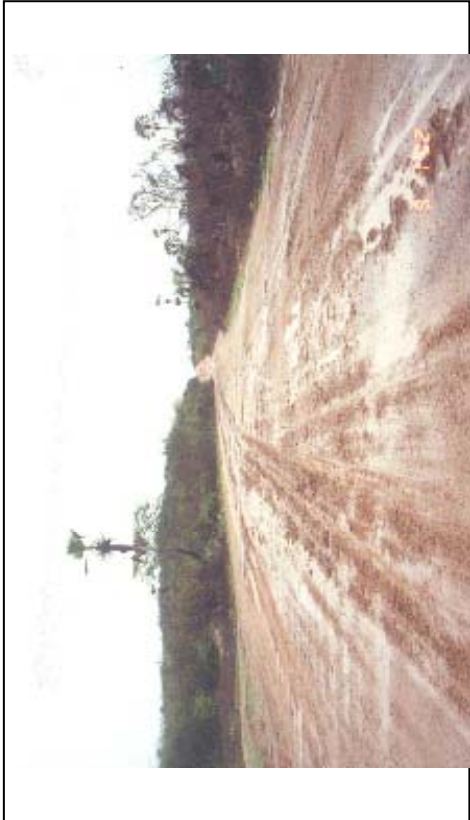
Projeto: Aquiraz Dissertação – EDUARDO

Estaca	Descrição	Progressiva	Norte	Este	Cota
29	FIM da ZT 07 INÍCIO da ZT 08	580,000	9.559.270,0892	556.674,6552	102,066
30		600,000	9.559.277,0048	556.655,8889	101,538
30+10,388	PI12	610,388	9.559.280,5968	556.646,1417	101,463
31		620,000	9.559.283,4296	556.636,9566	101,436
32	FIM da ZT 08 INÍCIO da ZT 09	640,000	9.559.289,3239	556.617,8449	100,925
32+14,523	PI13	654,523	9.559.293,6040	556.603,9669	100,700
33		660,000	9.559.295,5773	556.598,8578	100,713
34	FIM da ZT 09 FIM da ZG 01	680,000	9.559.302,7832	556.580,2010	100,739

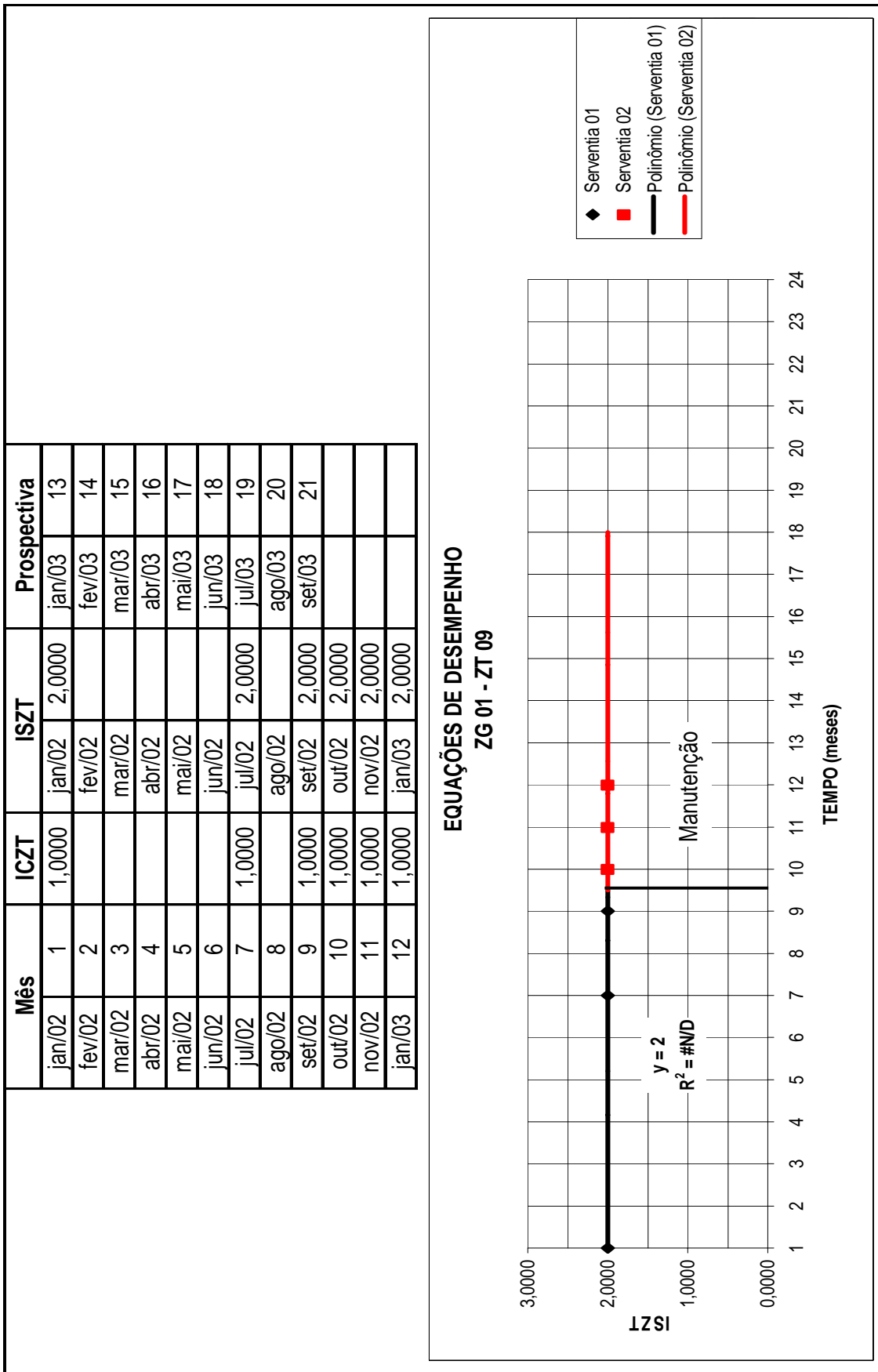
ANEXO 6**EXEMPLO DA PLANILHA DE CÁLCULO DO MODELO
DE PREVISÃO DE DESEMPENHO (MÉTODO ALYNOMO)**

Níveis de Severidade e Cálculo do SMZT																	
1. Poligonal		2. Zona Geotécnica		3. Zona Topográfica		4. Área (m ²)		5. Extensão (m)		6. Data:							
AQZ 02		ZG 02		ZT 10		1467,564		122,297		Janeiro de 2002							
7. Tipos de Defeitos																	
75. Buracos (m ²)		Profundidade (m)		Severidade		N.º de CN ₁		GSID ₁		N.º de CN ₂		PD ₂		GSID ₂		SMZT	
Sem Ocorrência		0,00		0		18		3		0		0,00		0		0	
Baixa		0,01		1		N.º de CN ₃		GSID ₃		N.º de CN ₄		PD ₄		GSID ₄			
Média		0,05		2		-		-		-		-		-			
Média		0,10		2		N.º de Ocorrências do Defeito na ZT								1			
Alta		0,11		3												3,0	
76. Trilha de Roda (m ²)		Profundidade (m)		Severidade		N.º de CN ₁		GSID ₁		N.º de CN ₂		PD ₂		GSID ₂		SMZT	
Sem Ocorrência		0,00		0		-		-		-		-		-			
Baixa		0,01		1		N.º de CN ₃		GSID ₃		N.º de CN ₄		PD ₄		GSID ₄			
Média		0,05		2		-		-		-		-		-			
Média		0,10		2		N.º de Ocorrências do Defeito na ZT								0			
Alta		0,11		3												-	
77. Perda de Agregados (m)		Profundidade (m)		Severidade		N.º de CN ₁		GSID ₁		N.º de CN ₂		PD ₂		GSID ₂		SMZT	
Sem Ocorrência		0,00		0		0		0		0		0,00		0		0	
Baixa		0,01		1		N.º de CN ₃		GSID ₃		N.º de CN ₄		PD ₄		GSID ₄			
Média		0,05		2		-		-		-		-		-			
Média		0,10		2		N.º de Ocorrências do Defeito na ZT								0			
Alta		0,11		3												-	
8. Legenda																	
8.1 PD		Profundidade do Defeito															
8.2 GSID		Grau de Severidade Individual do Defeito															
8.3 AEDL		Assoreamento do Equipamento de Drenagem Lateral															
8.4 ANP		Altura da Nuvem de Poeira															
8.5 SMZT		Severidade Média por Zona Topográfica															

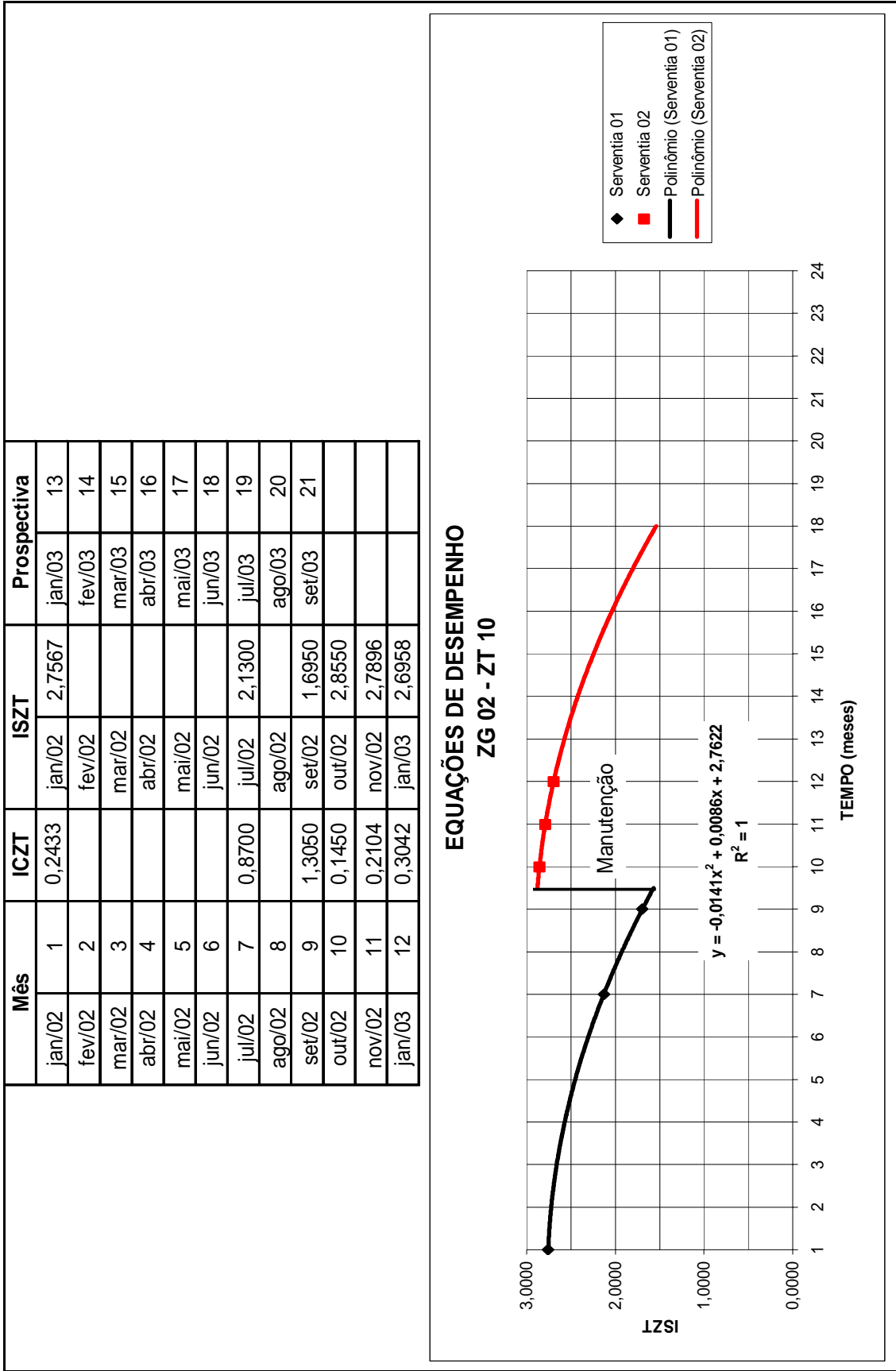
Níveis de Severidade e Cálculo do SMZT					
1. Poligonal	2. Zona Geotécnica	3. Zona Topográfica	4. Área (m²)	5. Extensão (m)	6. Data:
AQZ 02	ZG 02	ZT 10	1467,564	122,297	Janeiro de 2002
8. Legenda					
8.6	DSRZT	Densidade Superficial Relativa do tipo de defeito por Zona Totográfica			
8.7	ISZT	Índice de Serventia por Zona Topográfica			
9. Classificação Para o Índice de Serventia por Zona Topográfica - ISZT					
ICZT	Classificação	ISZT	Classificação		
0,000	EXCELENTE	0,000	PÉSSIMO		
0,199		0,199			
0,200	BOM	0,200	MUITO RUIM		
0,649		0,649			
0,650	REGULAR	0,650	RUIM		
1,099		1,099			
1,100	RUIM	1,100	REGULAR		
1,599		1,599			
1,600	MUITO RUIM	1,600	BOM		
2,199		2,199			
2,200	PÉSSIMO	2,200	EXCELENTE		
3,000		3,000			

Modelagem de Desempenho de Vias Não-Pavimentadas						Data:	Janeiro de 2002
1. Poligonal	2. Zona Geotéc.	3. Zona Topogr.	4. Área (m ²)	5. Extensão (m)	6. Tipos de Defeitos		
AQZ 02	ZG 02	ZT 10	1467,564	122,297	71. Seção Transversal Inadequada (m)		
7. Quantitativos dos Defeitos							
Tipo de Defeito	Qtd. 01	Qtd. 02	Qtd. 03	Qtd. 04	Somatório (Σ)	DSRZT	
71 (m)					-	-	
72 (m)	19,839				19,839	0,162	
73 (m ²)					-	-	
74 (m)					-	-	
75 (m ²)	9,027				9,027	0,006	
76 (m ²)					-	-	
77 (m)					-	-	
8. Cálculo do ISRZT							
Tipo de Defeito	SMZT	DSRZT	ISRZT				
71	-	-	-				
72	1,500	0,162	0,243				
73	-	-	-				
74	-	-	-				
75	3,000	0,006	0,018				
76	-	-	-				
77	-	-	-				
9. Índice Condição da Zona Topográfica - ICZT							
			0,243				
9. Foto							
							
10. Avaliação Final da Condição do Leito Carroçável da Zona Topográfica Segundo Classificação ICZT						BOM	

ANEXO 7**EXEMPLOS DE GRÁFICOS DA MODELAGEM DE
PREVISÃO DE DESEMPENHO (MÉTODO ALYNOMO)
DAS ZONAS TOPOGRÁFICAS**



Equação de Reta ($y = A.x + B$)



Equação Parabólica ($y = A.x^2 + B.x + C$)